

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Хіміко-технологічний факультет**

**Кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології**

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

Н.М. Толстопалова

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 20\_\_ р.

**Дипломний проект**

**на здобуття ступеня бакалавра**

з напрямку підготовки 6.051301 – Хімічна технологія (161 Хімічні технології та інженерія)

(код і назва)

на тему: відділення очищення води фотокаталітичним методом.

Виконала: студентка 4 курсу, групи ХН-51

Вальтер Ксенія Андріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доц., к.х.н. Донцова Т.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант:

з автоматичного регулювання

(назва розділу)

ст. викл. Лукінюк М.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

з економіко-організаційних рішень

(назва розділу)

доц., к.т.н. Підлісна О.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

з охорони праці

(назва розділу)

доц., к.т.н. Полукаров Ю.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2019 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ХН5106 1440 000 ПЗ	Пояснювальна записка	73	
3	A1	ДП ХН5106 1440 001 ТС	Технологічна схема	1	
4	A1	ДП ХН5106 1440 002 ТК	Головний апарат	1	
5	A1	ДП ХН5106 1440 003 СхА	Схема автоматизації	1	
6	A1	ДП ХН5106 1440 004 ІЛ	Економічний плакат	1	

				ДП ХН5106 1440 000		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Вальтер К.А.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Донцова Т.А.				1	1
Кон-сульт					КПІ ім. Ігоря Сікорського каф. ТНР та ЗХТ гр. ХН-51	
Н/контр.	Супрунчук В.І.					
В.о. зав.каф.	Толстопалова Н.М.					

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет хіміко-технологічний  
(повна назва)

Кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.051301 – Хімічна технологія (161 Хімічні технології та інженерія)

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)                      Н.М. Толстопалова  
(ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
на дипломний проект студенту  
Вальтер Ксенії Андріївни  
(прізвище, ім'я, по батькові)**

1. Тема проекту Відділення очищення води фотокаталітичним методом,  
керівник проекту: доц., к.х.н. Донцова Тетяна Анатоліївна.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «7» травня 2019 р. № 1221-С.

2. Термін подання студентом проекту: 4 червня 2019 р.

3. Вихідні дані до проекту: потужність відділення  $Q = 10 \text{ м}^3/\text{год}$ , барвник – конго червоний, процес – періодичний, фотокаталізатор – модифікований  $\text{TiO}_2$ .

4. Зміст пояснювальної записки: Обґрунтування та вибір способу і технологічної схеми виробництва. Характеристика продукції, сировини, допоміжних матеріалів, енергетичних носіїв. Характеристика і обґрунтування прийнятого методу виробництва. Хімізм та теоретичні основи. Опис технологічної схеми. Витратні коефіцієнти з сировини, напівпродуктів, допоміжних матеріалів та енергетичних носіїв. Автоматичне регулювання та контроль виробництва. Економіко-організаційні розрахунки. Охорона праці. Екологічна безпечність виробництва. Інноваційна частина.

5. Перелік графічного матеріалу: технологічна схема цеху, схема дистанційного контролю та автоматичного регулювання технологічних параметрів, креслення загального вигляду головного апарата, плакат результатів розрахунку економіко-організаційної частини, плакат інноваційної частини.

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	доц., к.х.н. Донцова Т.А.		
7	ст. викл. Лукінюк М.В.		
8	доц. Підлісна О.А.		
9	доц. Полукаров Ю.О.		

## 7. Дата видачі завдання 16 квітня 2019 р.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Обґрунтування та вибір способу і технологічної схеми виробництва. Описання технологічної схеми виробництва. Креслення технологічної схеми на форматі А4.	10 березня	
2	Характеристика продукції, сировини, допоміжних матеріалів, енергетичних носіїв. Характеристика прийнятого методу виробництва. Хімізм та теоретичні основи і обґрунтування норм технологічних режимів.	20 березня	
3	Визначення витратних коефіцієнтів з сировини, напівпродуктів, допоміжних матеріалів та енергетичних носіїв.	26 березня	
4	Комп'ютерний набір технологічної частини пояснювальної записки.	16 квітня	
5	Характеристика технологічного обладнання: розрахунок та вибір основних реакторів; розрахунок і вибір допоміжного технологічного обладнання.	22 квітня 29 квітня	
6	Автоматичний контроль та керування виробництвом	15 травня	
7	Економіко – організаційні розрахунки	21 травня	
8	Екологічна безпека виробництва	25 травня	

9	Охорона праці виробничого процесу	31 травня	
10	Оформлення пояснювальної записки, друк креслень та ілюстративних плакатів	4 червня	
11	Попередній захист	10 червня	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

# **Пояснювальна записка до дипломного проекту**

на тему: Відділення очищення води фотокаталітичним методом

# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	16
ВСТУП .....	17
1 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СПОСОБУ І ТЕНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВІДДІЛЕННЯ.....	18
1.1 Адсорбційний метод очищення.....	18
1.2 Фотокаталітичні методи очищення.....	20
1.2.1 Гомогенний фотокаталіз.....	21
1.2.2 Гетерогенний фотокаталіз.....	22
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКЦІЇ, СИРОВИНИ, ДОПОМІЖНИХ МАТЕРІАЛІВ, ЕНЕРГЕТИЧНИХ НОСІЇВ .....	24
2.1 Фізико-хімічні властивості сировини .....	25
3 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТОГО МЕТОДУ ВІДДІЛЕННЯ. ХІМІЗМ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ І ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ .....	27
3.1 Синтез композиту на основі титану (IV) оксиду модифікованого магнетитом .....	27
3.2 Процес фотокаталітичного очищення води .....	28
4 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ .....	32

5 ВИТРАТНІ КОЕФІЦІЄНТИ З СИРОВИНИ, НАПІВПРОДУКТІВ, ДОПОМІЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЕНЕРГОНОСІЇВ .....	34
5.1 Розрахунок матеріального балансу виробництва .....	34
5.2 Розрахунок витратних коефіцієнтів .....	37
6 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ .....	38
6.1 Розрахунок фотокаталітичного реактора .....	38
6.2 Розрахунок насосу.....	42
6.3 Вибір баку для зберігання композиту .....	44
6.4 Розрахунок баку з мішалкою .....	44
7 АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ВИРОБНИЦТВА .....	47
7.1 Аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизації.....	47
7.2 Опис розробленої схеми автоматизації .....	48
8 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ.....	50
8.1 Організаційні особливості відділення .....	50
8.2 Класифікація виробничих процесів .....	51
8.3 Оптимальний вид руху предмету праці.....	51
8.4 Розрахунки для обраного ВРПП.....	52
8.5 Порядок технічного контролю у відділенні .....	54
8.6 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка відділення.....	55
8.7 Техніко-економічні показники відділення .....	57
8.8 Паспорт якості .....	59
9 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	60
9.1 Виявлення та аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектному об'єкті. Заходи з охорони праці.....	60



9.1.1 Повітря робочої зони .....	60
9.1.2 Виробниче освітлення .....	61
9.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрацій.....	63
9.1.4 Електробезпека.....	63
9.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання .....	64
9.2 Пожежна безпека.....	65
10 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА.....	66
10.1 Аналіз джерел та розрахунок кількості відходів .....	66
10.2 Можливі варіанти екологізації відділення .....	68
10.3 Розрахунки та підбір обладнання за обраним рішенням .....	69
10.4 Екологічний моніторинг.....	70
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	73
ДОДАТОК А.....	75

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

СВ	стічні води;
ВРПП	вид рухів предметів праці;
ГДК	гранично допустима концентрація;
УФ	ультрафіолет;
ФОП	фонд оплати праці.

## ВСТУП

Вода завжди була важливою складовою життя всіх живих організмів, а також є незамінною в будь-якій промисловості. З розвитком промисловості – енергетичної, хімічної – багато уваги приділяється її якості, так як вода, яка скидається в водоймища, може містити різноманітні домішки та токсичні, отруйні речовини, що може погано вплинути на самопочуття та здоров'я людини. Особливої уваги варто приділити органічним поллютантам та мікроорганізмам, які мають негативний вплив на людський організм й оточуюче середовище.

Речовини органічного походження досить важко вилучити з води повністю, тому вони потребують тонких методів очищення. Такі методи полягають у використанні УФ-випромінювання, озону або їх поєднання. Недоліком є їх енергоємність, тому в Україні дані методи не використовуються для водоочищення.

Більш економічно доцільним варіантом є гетерогенний фотокаталіз з використанням УФ-випромінювання. Завдяки використанню каталізатора, швидкість процесу окиснення органічних сполук різко збільшується і як результат зменшується його тривалість. Характерною особливістю каталізу є те, що каталізатор не витрачається, а сама реакція відбувається на поверхні фотокаталізатора і стимулюється поглинутим ультрафіолетовим світлом.

Найбільшого розповсюдження та використання набув саме оксид титану (IV) завдяки своїм властивостям: нетоксичності, хімічній стабільності та дешевизни. Використання даного фотокаталізатора призводить до вилучення багатьох органічних складових, а також деяких неорганічних сполук.

Метою даної роботи є обґрунтування вибору методу водоочищення, розробка технологічної схеми синтезу магнітного композиту на основі титану (IV) оксиду та очищення їм стічних вод фотокаталітичним методом, автоматизація відділення, аналіз доцільності за допомогою економіко-технологічних параметрів, оцінювання екологічності відділення.

# **1 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СПОСОБУ І ТЕНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВІДДІЛЕННЯ**

На сьогоднішній день існує велика кількість вилучення органічних барвників зі стічних вод. До них відносяться такі методи як коагуляція, адсорбція, а також сучасні методи очищення, які ґрунтуються на використанні різноманітних окиснювачів і фотокаталізаторів та використанні різних реагентів та механізмів дії (Реактив Фентона/ $\text{TiO}_2$ /УФ випромінювання; Реактив Фентона/УФ випромінювання;  $\text{TiO}_2$ /УФ випромінювання тощо.)

## **1.1 Адсорбційний метод очищення**

Адсорбційний метод застосовують для більш глибокого очищення стічних вод від розчинених в них органічних речовин після біохімічної очистки, а також в локальних установках, якщо концентрація цих речовин у воді невелика і вони біологічно не розкладаються або є дуже токсичними.

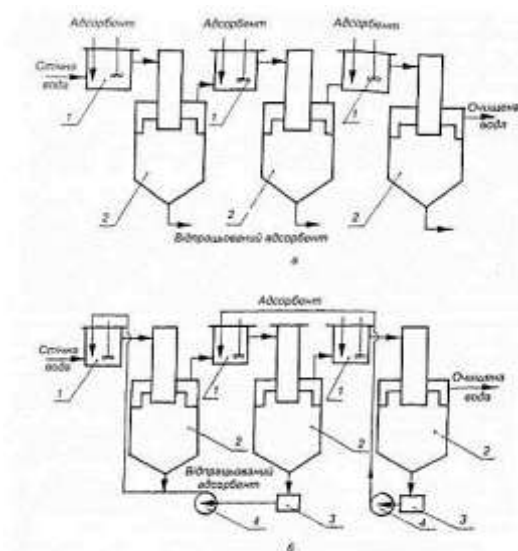
Адсорбцію також можна використовувати для очищення стічних вод від фенолів, гербіцидів, пестицидів, ароматичних нітросполук, ПАР, барвників. Перевага методу – висока ефективність, можливість очищення стічних вод, що містять кілька речовин, а також рекуперації цих речовин. Адсорбційна очистка стічних вод є найбільш раціональною в разі, якщо в них містяться переважно ароматичні сполуки, неелектролітів або слабкі електроліти, барвники, ненасичені сполуки або гідрофобні (наприклад, що містять хлор або нітрогрупи) аліфатичні сполуки, але також застосовується для очищення від неорганічних (формальдегід, фенол, відходи синтетичних смол, аміак та ін.) речовин.

Адсорбційне очищення вод буває регенеративним (витягування речовин із адсорбенту та їхня утилізація) і деструктивним (витягування речовини із адсорбенту та її знищення разом з адсорбентом).

В якості сорбентів частіше за все використовують: глауконіт, цеоліт, палігорськіт і активоване вугілля. Найбільш універсальним з адсорбентів є активоване вугілля, але воно повинно мати певні властивості (погано взаємодіяти з молекулами води та добре – з органічними речовинами, бути великопористими, мати високу адсорбційну ємність та селективність, малу утримуючу здатність

при регенерації). Використання активованого вугілля обґрунтовується його дешевизною, доступністю та простотою у використанні. Також перевагою є те, що при потраплянні певної частини активованого вугілля в стічні води він не задає шкідливого впливу на організм людини.

В промислових умовах використовують адсорбційні установки з протитечійним і послідовним введенням адсорбенту. Процес адсорбційного очищення стічних вод здійснюється при інтенсивному перемішуванні адсорбенту з водою та фільтруванні її через шар адсорбенту. Процес може бути одно- або кількоступеневим. Останній є більш економічно доцільним. При використанні цього методу на першому етапі вводять таку кількість адсорбенту, яка є необхідною для зменшення концентрації забруднюючих речовин від початкової концентрації до проміжної. Після цього адсорбент виводять за допомогою фільтрування або відстоювання, а стічна вода подається на другий етап, на якому вводиться свіжий адсорбент.



а – з послідовним введенням адсорбенту: 1 – змішувачі; 2 – відстійники;

б – з протитечійним введенням адсорбенту: 1 – змішувачі; 2 – відстійники;

3 – приймачі; 4 – насоси.

Рисунок 2.1 – Схема адсорбційних установок.

Кінцева концентрація забруднюючих речовин у стічній воді після проходження багатоступінчатого очищення у відповідній установці з  $n$  ступенями визначається як:

- з протитічним введенням адсорбенту:

$$C_k = \frac{(\frac{km}{V}-1) \cdot c_n}{(\frac{km}{V})^{n-1}}, \quad (1.6)$$

- з послідовним введенням адсорбенту:

$$C_k = (\frac{V}{V+km})^n \cdot c_n, \quad (1.7)$$

де  $C_k$  і  $C_n$  – кінцева і початкова концентрації забруднювальних речовин у стічній воді, мг/м<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм стічної води, м<sup>3</sup>;

$k$  – коефіцієнт розподілу речовин-забруднювачів в стічній воді;

$m$  – витрата адсорбенту, яку визначають за формулою:

$$m = \frac{V}{k} \sqrt{\frac{C_n}{C_k} - 1}. \quad (1.8)$$

Кількість ступенів, яка є необхідною за певних умов, визначають як:

- для установок з протитічним введенням:

$$n = \frac{\lg[C_n(\frac{km}{V}-1)+C_k] - \lg C_k}{\lg(\frac{m}{V})k}, \quad (1.9)$$

- для установок з послідовним введенням:

$$n = \frac{\lg C_n - \lg C_k}{\lg(V+km) - \lg V}. \quad (1.10)$$

Але в активованого вугілля також є і недоліки, основним з яких є велика кількість відходів, які складно переробити або регенерувати для подальшого використання. Також цей адсорбент має досить невелику ефективність (середнє значення сягає 80...87 %). Швидкість фільтрування стічних вод залежить від концентрації забруднюючих речовин, що розчиненні в ній і варіюється від 2...4 до 5...6 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>/год).

## 1.2 Фотокаталітичні методи очищення

На сучасному етапі розвитку науки фотокаталіз визначають як « зміна швидкості або збудження хімічних реакцій під дією світла в присутності речовин (фотокаталізаторів), які поглинають кванти світла та беруть участь в хімічних перетвореннях учасників реакції, багаторазово вступаючи з ними в промі-

жні взаємодії і регенеруючи свій хімічний склад після кожного циклу таких взаємодій».

Розроблено велике різноманіття речовин-фотокаталізаторів, які прискорюють реакції синтезу та розкладу, які перебігають при опроміненні світлом. В основному при фотокатализі фотокаталізатор та реагуюча речовина знаходяться в різних фазах та мають границю розділу, тому даний процес відносять до гетерогенного каталізу.

Характерною ознакою фотокаталітичної реакції є те, що фотокаталізатор, який змінює швидкість реакції, є не пасивним, а активним учасником хімічної реакції. Фотокаталізатор бере участь в проміжних стадіях і по закінченню реакції він повністю регенерується. Крім того, основною перевагою фотокаталітичних технологій є їх універсальність: на одному і тому ж катализаторі, в одних і тих же умовах та реакторах, з використанням одних і тих же джерел світла можна проводити деструкцію різноманітних органічних та неорганічних речовин.

### **1.2.1 Гомогенний фотокатализ**

В гомогенному фотокатализі реагуючі речовини та фотокаталізатор знаходяться в одній фазі. Найбільш часто вживані гомогенні фотокаталізатори включають в себе озон та фото-системи Фентона ( $\text{Fe}^{+2}$  та  $\text{Fe}^{+2}/\text{H}_2\text{O}_2$ ). На ефективність процесів типу Фентона впливають декілька робочих параметрів, таких як концентрація перекису водню, рН, та інтенсивність ультрафіолетового (УФ) випромінювання.

Перевагою такого методу є можливість використання сонячного світла з інтенсивністю до 450 нм, що зменшує витрати на дорогі УФ лампи та електричну енергію. Але також існують і недоліки, одним з яких є те, що для перебігу цього процесу необхідно дотримуватись низьких значень рН, оскільки залізо осідає при більш високих значень і тому воно має бути видалене після обробки. Також відомо, що фото-Фентон не може використовуватись для очищення стічних вод, якщо концентрація органічних речовин в них висока через те, що каламутність таких вод заважає проникненню УФ-випромінювання.

### 1.2.2 Гетерогенний фотокаталіз

Гетерогенною системою називається неоднорідна система, яка складається з частин або фаз, які відрізняються своїми фізичними або хімічними властивостями. Прикладами гетерогенної системи можуть бути: пар та рідина тієї ж речовини, тверді тіла, які мають різну кристалічну структуру та рідини, що не змішуються. Основною ознакою гетерогенної системи є чітка границя фізична границя між фазами.

Фотокаталізаторами, як правило, виступають тверді тіла. Хімічні взаємодії перебігають на поверхні фотокаталізатора, а випромінювання поглинається твердим тілом тобто фотокаталізатором [1].

Вимоги до твердого фотокаталізатора:

1. Фотоактивність при опроміненні світлом УФ- або видимого діапазону;
2. Фотокорозійна стабільність;
3. Біологічна інертність;
4. Низька вартість.

До найпоширеніших фотокаталізаторів відноситься  $\text{TiO}_2$ . Він вважається найперспективнішим напівпровідниковим фотокаталізатором завдяки таким властивостям, як корозійна стійкість, хімічна стабільність, не токсичність, висока фотокаталітична активність, низька вартість і розвинутими оптичними властивостями [3]. Дослідженню фотокаталітичних властивостей  $\text{TiO}_2$  присвячено багато робіт, в яких детально вивчалися механізми та кінетика деструкції органічних та неорганічних речовин на  $\text{TiO}_2$ , продукти реакцій, але не було проведено систематичних досліджень впливу кристалічної будови, питомої поверхні, сорбційних властивостей  $\text{TiO}_2$  на його фотокаталітичну активність.

В даний час  $\text{TiO}_2$  широко використовується в області фотокаталізу, зокрема, при фотолізі води, як економічно вигідного способу отримання водню. Можливість отримання водню за допомогою фотолізу води значно знижує витрати на його отримання і дозволяє використовувати водень як екологічно чиста сировина для виробництва електроенергії.



Фотокаталітичні процеси також можна використовувати і для очищення повітря. Нанесений на оксидну матрицю  $\text{TiO}_2$  під дією енергії світла, кисню з повітря і води, утворює вільні радикали, які здатні зруйнувати органічні і неорганічні забруднювачі атмосфери. Основними забруднювачами довкілля є  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , бензол, поліциклічні ароматичні вуглеводні.



Проте використання фотокаталізатору  $\text{TiO}_2$  в такій сфері, як очищення стічних вод, обмежено через його високу дисперсність, а отже, складність відділення останнього після завершення сорбційно-фотокаталітичного процесу. Для вирішення цієї проблеми в даній роботі запропоновано модифікацію  $\text{TiO}_2$  магнетитом.

Проаналізувавши переваги та недоліки всіх вищезазначених методів, було вирішено використовувати гетерогенний фотокаталіз, так як він є найбільш перспективним, легким у проведенні та не вимагає використання великої кількості обладнання.

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКЦІЇ, СИРОВИНИ, ДОПОМІЖНИХ МАТЕРІАЛІВ, ЕНЕРГЕТИЧНИХ НОСІЇВ

Вимоги до сировини та готової продукції наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика сировини, матеріалів та продукції

Найменування матеріалів , сировини та готової продукції	Технічні умови/стандарти	Показання обов'язкові до контролю	Регламентовані показники
1	2	3	4
Титану (IV) оксид марки Р25	Технічні умови	Вміст $\text{TiO}_2$ , %	94
		Стійкість при 105 °С, %	0,5
		рН	6.5-8.0
		Вміст вологи, $\text{cm}^3/100\text{г}$	28
		Розмір частинок, нм	21-5
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	ДСТУ 4147-65	Масова частка хлорного заліза, %, мінімум	95
		Масова частка хлористого заліза, %, максимум	0,6
		Густина $\text{г/см}^3$	2,8
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	ДСТУ 6981-94	Масова частка основного компоненту, %, мінімум	53
		Масова частка вільної сірки, %, максимум	0,3
$\text{NH}_4\text{OH}$	ДСТУ 7370-2013	Масова частка аміаку, %, не менше	25

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
HCl	Технічні умови	Концентрація моль/дм <sup>3</sup>	2
Композит на основі титану (IV) оксид та магнетиту	Технічні умови	Масова частка магнетиту, %	7
Вихідна вода	ДСТУ 7525:2014	Концентрація барвників органічного походження, мг/ дм <sup>3</sup>	10
		pH	8-9

## 2.1 Фізико-хімічні властивості сировини

Оксид титану (IV) (TiO<sub>2</sub>) володіє багатьма хімічними, фізичними та оптичними характеристиками, які роблять цю речовину придатним для широкого спектру застосувань. Це відносно дешевий оксид металу, термодинамічно стабільний, нетоксичний та не шкодить довкіллю. Завдяки своїм властивостям TiO<sub>2</sub> може використовуватись як: біоматеріал, пігменти, сонячні елементи, газові датчики, конденсатори, люмінесцентні матеріали, фотокаталізатори, а також в очищенні навколишнього середовища [2]. Густина оксиду за 20 °C становить приблизно 4 г/см<sup>3</sup>, температура кипіння – 2500 °C, температура плавлення – 1850-1870 °C.

TiO<sub>2</sub> існує в трьох кристалічних модифікаціях: брукіт, анатаз, рутил. В основному, в фотокаталізі використовуються анатаз або рутил. Вважається, що анатаз – це найбільш активна модифікація даного оксиду. Також особливістю цієї модифікації є термодинамічна нестабільність фази (фазовий перехід починається при 700 °C). На рисунку 2.1 показано структуру рутилу та анатазу.

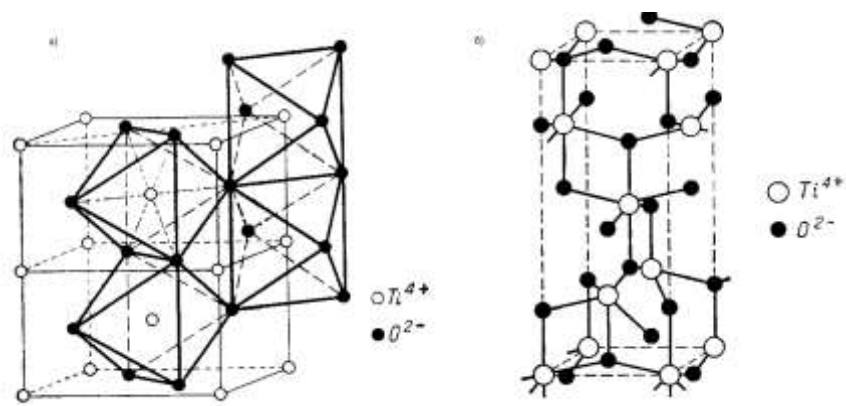


Рисунок 2.1 – Структура рутилу(а) та анатазу (б)  $\text{TiO}_2$ .

Для відділення фотокаталізатора від реакційного середовища магнітні ядра повинні бути синтезовані всередині фотокаталізатора у вигляді структури ядра або оболонки [2]. Для цієї мети були синтезовані оболонки  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  на основі методу прямого занурення, в результаті якого нанокристали титану (IV) оксиду були покриті на поверхні порожніх сфер магнетиту ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

Магнетит – оксид чорного кольору. Володіє сильними феромагнітними властивостями. Твердість цього оксиду близько  $5000 \text{ г/дм}^3$ , але не дивлячись на таку твердість цей мінерал є досить крихким. Виступає в якості напівпровідника та має низьку електропровідність. Був синтезований з використанням шестиводного хлорного заліза (III) та семиводного сульфата заліза (II) з вмістом основного компоненту 95 та 53 % відповідно. Також було використано хлоридну кислоту ( $\text{HCl}$ ), концентрація якої повинна бути  $2 \text{ моль/дм}^3$ . Густина кислоти такої концентрації дорівнює  $1,31 \text{ г/см}^3$ , температура кипіння –  $109,7^\circ\text{C}$ . Точка Кюрі (температура Кюрі, вище якої феромагнетики втрачають свої магнітні властивості, тобто стають парамагнетиками) становить  $585^\circ\text{C}$ . Намагніченість магнетиту –  $62,6 \pm 2,5 \text{ \% Гс} \cdot \text{см}^3/\text{г}$ .

Вода – прозора речовина без забарвлення, запаху та смаку, може існувати в трьох агрегатних станах. Густина при температурі  $20^\circ\text{C}$  –  $998,9 \text{ г/дм}^3$ , за нормального атмосферного тиску ( $760 \text{ мм. рт. ст}$ ) починає кипіти при температурі  $100^\circ\text{C}$  та замерзає при  $0^\circ\text{C}$ .

### **3 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТОГО МЕТОДУ ВІДДІЛЕННЯ. ХІМІЗМ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ І ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ**

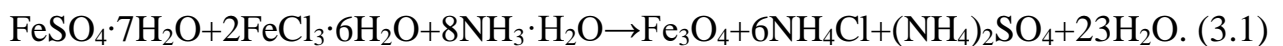
Згідно з технологічною схемою, яка описана в розділі 4, робота відділення очищення води фотокаталітичним методом з використанням композиту власного виробництва на основі діоксиду титану з магнітними властивостями складається з таких стадій:

1. Синтез композиту на основі титану (IV) оксиду модифікованого магнетитом ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).
2. Процес фотокаталітичного очищення води.
3. Відділення фотокаталізатора від очищеної води.

#### **3.1 Синтез композиту на основі титану (IV) оксиду модифікованого магнетитом**

З хімічної точки зору синтез тлумачать як процес отримання одних сполук, які мають певну структуру, властивості та склад, з інших.

Синтез магнетиту проводиться в мішалці з сорочкою 5 за методом хімічного осадження з використанням кристалогідратів: шестиводного хлорного заліза (III) та семиводного сульфату заліза (II), які розчиняють в хлоридній кислоті (2М) у молярному співвідношенні  $\text{Fe}^{2+}:\text{HCl}=1:6$  та воді. Осаджувачем в даному методі виступає аміачна вода концентрацією 25 %. Процес осадження починається при рН 9-9,1. Осадження слід проводити за температури 40-50 °С. Хімізм процесу можна описати реакцією :



Після закінчення синтезу магнетит відділяють від рідкої фази під дією магнітного поля та промивають його водою протягом 20 хвилин при постійному перемішуванні. Промивання проводять тричі. Після остаточного промивання осад відділяють від рідини та додають дистильовану воду.

Для того, щоб отримати 100 кг композиту з вмістом магнетиту 7 %, 93 кг  $\text{TiO}_2$  перемішують з приготованою магнітною рідиною. Отриману суспензію

перемішують протягом 30 хвилин для того, щоб  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  адсорбувався на поверхні оксиду. Одержану суміш розділяють за допомогою магнітного сепаратора та висушують при температурі  $110\text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3.2 Процес фотокаталітичного очищення води

Змішування – процес отримання однорідної суміші: суспензії, однорідного розчину або емульсії.

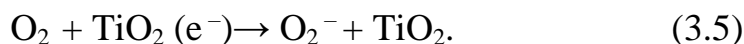
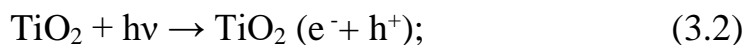
На основі експериментальних даних було встановлено оптимальну кількість  $\text{TiO}_2 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$ , яка є необхідною для очищення  $1\text{ м}^3$  води – 2 кг.

Процес перемішування відбувається в баці з мішалкою 12 впродовж 10 хвилин. В результаті цього утворюється суспензія, яка далі подається в фотокаталітичний реактор 14, де відбувається процес очищення води від барвників органічного походження.

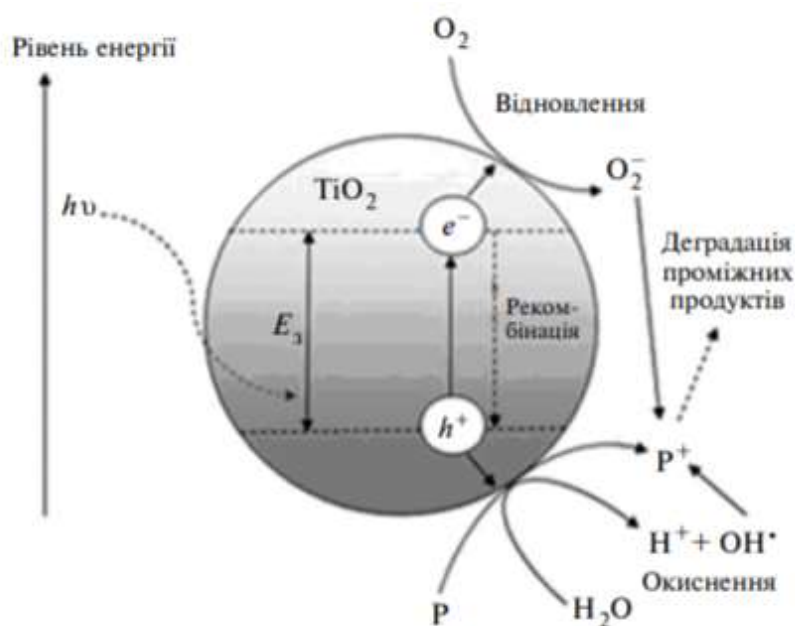
Фотокаталіз використовується в водоочищенні для вилучення органічних речовин з води та її знезараження та полягає у прискоренні реакцій під дією каталізатора та ультрафіолетового випромінювання.

Процес фотодеструкції поллютантів за участі фотокаталізатора перебігає за рахунок утворення пар електрон-дірка, що утворюються під дією частинок (квантів) світла. В реакціях такого типу фотокаталізатор відіграє роль ініціатора і як результат утворюються активні частинки  $\bullet\text{HO}_2$ ,  $\bullet\text{O}_2$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}\bullet$  та інші, які беруть участь в процесах окиснення. Механізм процесу можна описати наступним чином. Під дією світла із енергією, більшою за ширину зони напівпровідника, яка є забороненою, електрон валентної зони ( $h^+$ ) збуджується та переходить у зону провідності ( $e^-$ ). В результаті цього заряди розділяються і з'являються дві частинки із протилежними зарядами: дірка та електрон. Коли частинки досягають поверхні напівпровідника, вони приймають участь в хімічних реакціях (перетвореннях). Молекула кисню  $\text{O}_2$ , яка розчинилась у воді, захоплює електрон, що спричиняє утворення супероксидного радикалу  $\bullet\text{O}_2^-$ . Після чого, він починає взаємодіяти з протоном та утворює надпероксидний радикал  $\bullet\text{HO}_2$ . Взаємодії радикалів  $\bullet\text{O}_2^-/\bullet\text{HO}_2/\text{OH}\bullet$  із молекулами органічних речовин призводять до їх кінцевої мінералізації [4].

Згідно з [4] характеристикою фотокаталітичної активності напівпровідникових структур є наявність супероксидних та гідроксидних радикалів, отримання яких можна описати реакцією:



Схематичний механізм фотоактивації зображено на рисунку нижче.



P – полютанти; E<sub>g</sub> – ширина забороненої зони.

Рис. 3.1 – Схематичне зображення фотоактивації і фотокаталізу на поверхні титану (IV) оксиду.

З цього рисунку видно, що фотокаталітичне окиснення полютантів органічних за їхньою природою можна описати такими стадіями:

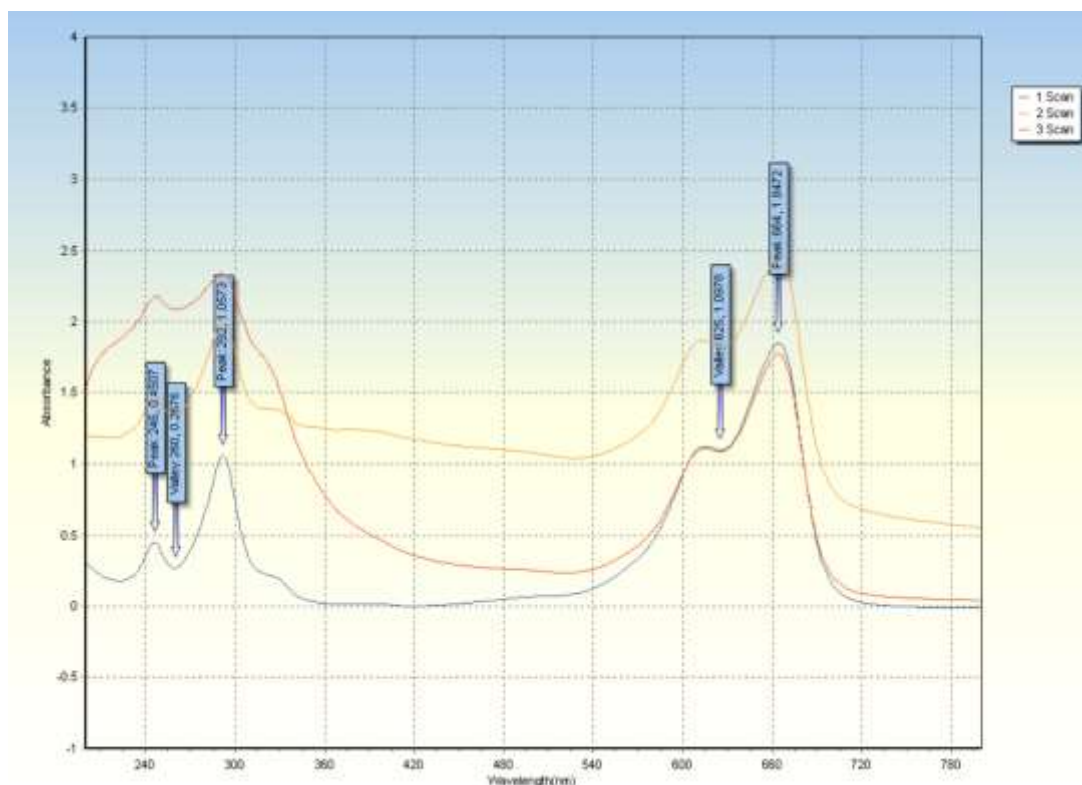
1. Перенесення маси органічного полютанта з рідкої фази до поверхні TiO<sub>2</sub>.
2. Адсорбція органічного полютанта на фотонактивовану поверхню TiO<sub>2</sub>.
3. Фотокаталітичні взаємодії на поверхні TiO<sub>2</sub>.

4. Десорбція продуктів, утворених на попередніх стадіях, з поверхні  $\text{TiO}_2$ .

5. Масовий перенос у водне середовище цих продуктів [4].

В ході лабораторних досліджень, результати яких викладено в [3] було з'ясовано, що модифікація композиту майже не впливає на ступінь знебарвлення розчину в порівнянні з чистим  $\text{TiO}_2$ , але відділення композиту  $\text{TiO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$  проводилось за допомогою магнітної декантації, яка відбувалась протягом 10 хв, на відміну від чистого  $\text{TiO}_2$ , який відділявся тривалим центрифугуванням.

На рисунку 3.2 показано оптичні спектри розчинів до та після сорбції в діапазоні  $\lambda$  від 200 нм до 800 нм.



1 – після контакту з  $\text{TiO}_2$ ; 2 – вихідного розчину метиленового блакитного; 3 – розчину після контакту із 7 %-м  $\text{TiO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$ .

Рисунок 3.2 – Оптичні спектри розчинів [3].

Також було досліджено ступінь знебарвлення розчину барвника конго червоного в залежності від часу взаємодії розчину та фотокаталізатору під дією УФ- випромінювання. Результати представлені на рисунку 3.3.



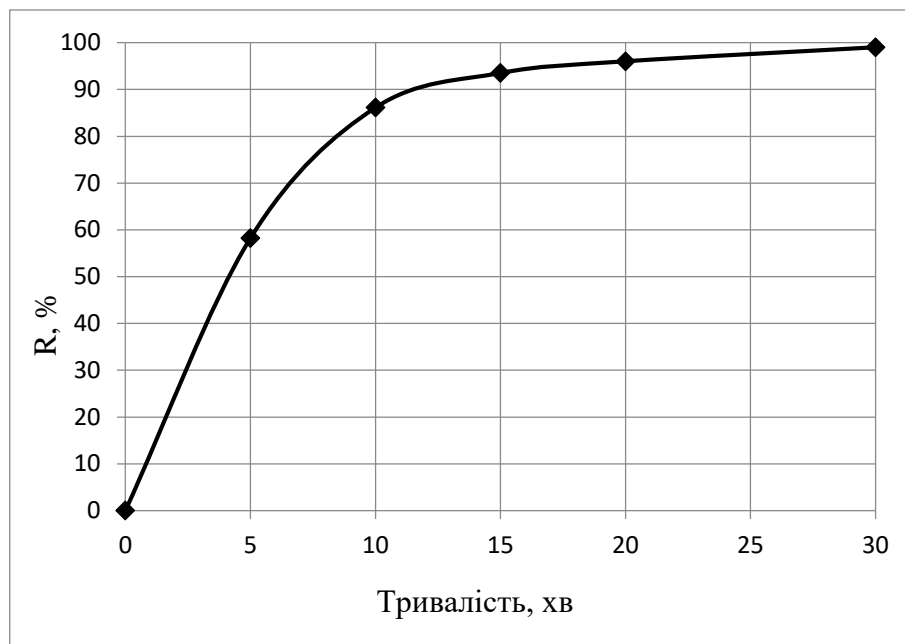
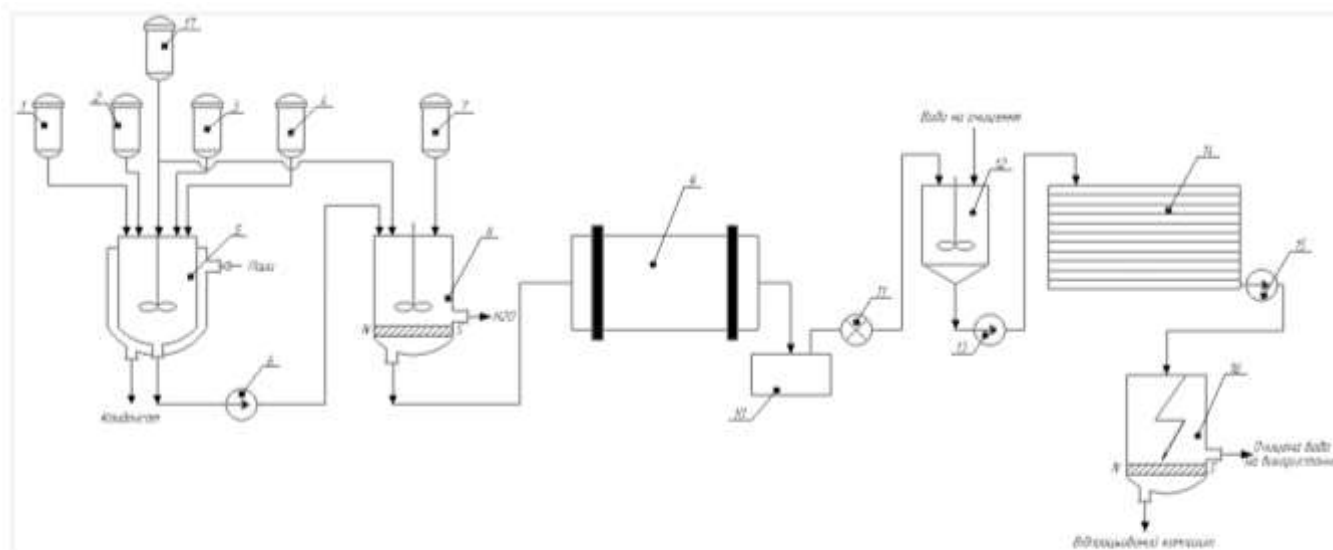


Рисунок 3.3. – Ступінь знебарвлення розчину конго червоного в залежності від часу контакту з фотокаталізатором.

Відділення відпрацьованого композиту від рідкої фази відбувається в магнітному фільтрі під дією магнітного поля на електромагніті впродовж 10 хвилин.

#### 4 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

На рисунку 4.1 зображена технологічна схема синтезу магнітного композиційного сорбенту на основі титану (IV) оксиду та очищення ним стічних вод.



1, 2, 3, 4, 7, 17 – мірники; 5 – мішалка з підігрівом; 6, 13, 15 – відцентрові насоси; 8 – електромагнітний фільтр з перемішуючим пристроєм; 9 – барабанна сушарка; 10 – бак для зберігання сорбенту; 11 – ваговий дозатор; 12 – механічна мішалка; 14 – фотокаталітичний реактор; 16 - електромагнітний фільтр.

Рисунок 4.1 – Технологічна схема синтезу магнітного композиційного сорбенту на основі титану (IV) оксиду та очищення ним стічних вод.

Для синтезу магнітного композиційного сорбенту попередньо готують магнітну рідину. Магнітну рідину отримують з солей феруму ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  та  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) із співвідношенням  $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+} = 1:2$ . Ці солі з мірників 1 та 2 поступають в апарат з перемішувальним пристроєм 5. В цей реактор також дозується хлорводнева кислота концентрацією 2 моль/дм<sup>3</sup> в молярному співвідношенні  $\text{Fe}^{2+}:\text{HCl} = 1:6$ , з бункеру 17 подається вода в кількості 2:1 до маси розчинених кислотою солей. Апарат 5 слугує також ємністю для підігріву розчину солей феруму (II) та феруму (III). Далі отриманий розчин нейтралізують концентро-

ваним розчином аміаку з ємності 4 (до рН 9-9,1). Процес проводиться при постійному перемішуванні та температурі 40-50 °С.

Магнетит, що утворився, подається в магнітний фільтр з мішалкою 8 для відділення від рідкої фази та промивання супернантату. Промивка здійснюється 20 хвилин і повторюється 3 рази. Для синтезу магнітного сорбенту методом просочування в апарат 8 подається оксид титану (IV). Отримана таким чином суспензія перемішується впродовж 30 хвилин. Модифікування  $\text{TiO}_2$  магнетитом  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  реалізується за рахунок процесу адсорбції. Далі вологий модифікований сорбент відділяють за допомогою електромагніту та подають в барабанну сушарку 9, в якій підтримується температура 100-110 °С. Порошкоподібний  $\text{TiO}_2 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$  збирають в бункері 10.

Попередньо освітлена вода поступає в бак з мішалкою 12, куди дозується модифікований сорбент, та перемішується протягом 5 хвилин. Далі суспензія подається в фотокаталітичний реактор 14, де під дією УФ випромінювання відбувається процес очищення. Процес триває 20 хвилин. Після сплину вказаного часу вода разом з сорбентом перетікає у магнітний фільтр 16 для відокремлення шламів від очищеної СВ. Після відокремлення очищена вода подається на використання.

## 5 ВИТРАТНІ КОЕФІЦІЄНТИ З СИРОВИНИ, НАПІВПРОДУКТІВ, ДОПОМІЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЕНЕРГОНОСІЇВ

### 5.1 Розрахунок матеріального балансу виробництва

Розрахунок матеріального балансу синтезу магнітного композиту проводиться з розрахунком на 100 кг кінцевого продукту, тобто  $\text{TiO}_2 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$  з вмістом  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  7 %.

Знайдемо масу магнітної рідини, яка утворюється в результаті синтезу магнетиту за формулою:

$$m_{\text{м.г.}} = \frac{m(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{W(\text{Fe}_3\text{O}_4)} \quad (5.1)$$

де  $m(\text{Fe}_3\text{O}_4)$  – маса магнетиту, який міститься в магнітній рідині, г;

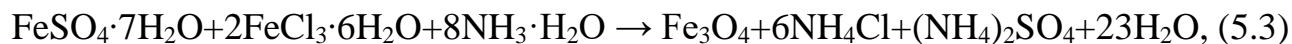
$W(\text{Fe}_3\text{O}_4)$  – масова частка магнетиту.

$$m_{\text{м.г.}} = \frac{7000}{0,04} = 175\,000 \text{ г} = 175 \text{ кг.}$$

Розрахуємо кількість води в магнітній рідині:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{м.г.}} \cdot (1 - W(\text{Fe}_3\text{O}_4)) = 175 \cdot (1 - 0,04) = 168 \text{ кг.} \quad (5.2)$$

За рівнянням реакції:



знайдемо маси вихідних речовин та побічних продуктів.

Для цього знайдемо кількість моль  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ :

$$n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = \frac{m(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{M(\text{Fe}_3\text{O}_4)}, \quad (5.4)$$

де  $M(\text{Fe}_3\text{O}_4)$  – молярна маса  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $M(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 231,5$  г/моль.

$$n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = \frac{7000}{231,5} = 30,2 \text{ моль.}$$

Для розрахунку мас використаємо формулу:

$$m(\text{реч.}) = M(\text{реч.}) \cdot (n(\text{Fe}_3\text{O}_4) \cdot n(\text{реч. за стехіометрією})). \quad (5.5)$$

Звідси:

$$m(\text{NH}_4\text{OH})_{\text{за реакцією}} = 35 \cdot (30,2 \cdot 8) = 8,5 \text{ кг.}$$

$$m(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 270,5 \cdot (30,2 \cdot 2) = 16,36 \text{ кг.}$$

$$m(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 278 \cdot 30,2 = 8,4 \text{ кг.}$$

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 53,5 \cdot (30,2 \cdot 6) = 9,7 \text{ кг.}$$

$$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 132 \cdot 30,2 = 4 \text{ кг.}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 18 \cdot (30,2 \cdot 23) = 12,5 \text{ кг.}$$

Як було зазначено раніше, співвідношення  $\text{HCl} : \text{Fe}^{2+}$  має дорівнювати 6:1.

Тому:

$$m(\text{HCl}) = \frac{56 \cdot 8\,400}{278} \cdot 6 = 10,2 \text{ кг.}$$

Знайдемо кількість молів  $\text{NH}_4\text{OH}$ , яку необхідно додати в ході синтезу для доведення рН до значення 9-9.1 :

$$\text{pH} = K_d * \frac{V * C - n(\text{NH}_4\text{OH})}{n(\text{NH}_4\text{OH})}, \quad (5.6)$$

де  $K_d$  – константа дисоціації  $\text{NH}_4\text{OH}$ ;

$V$  – об'єм всього розчину,  $\text{дм}^3$ ;

$C$  – молярна концентрація  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{моль/дм}^3$ ;

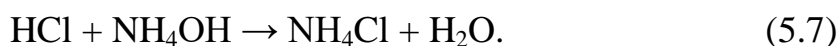
Підставимо в формулу (5.5) відомі величини і отримаємо:

$$1 \cdot 10^{-9} = 1.771 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{200 \cdot 13.32 - X}{X}.$$

Звідси знаходимо  $n(\text{NH}_4\text{OH}) = 2339,9$  моль. Тоді маса  $\text{NH}_4\text{OH}$  буде дорівнювати:

$$m(\text{NH}_4\text{OH})_{\text{pH}} = 2339,9 \cdot 35 = 81,9 \text{ кг.}$$

В ході синтезу також відбувається нейтралізація хлоридної кислоти, яка описується рівнянням реакції:



Знаючи наслідок з закону еквівалентів:

$$C_1 V_1 = C_2 V_2, \quad (5.8)$$

знайдемо об'єм  $\text{NH}_4\text{OH}$ , який є необхідним для нейтралізації  $\text{HCl}$ :

$$V_{\text{NH}_4\text{OH}} = \frac{C_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}}}{C_{\text{NH}_4\text{OH}}} = \frac{2 \cdot 9,8732}{13,32} = 1,48 \text{ дм}^3. \quad (5.9)$$

Також розрахуємо масу води, яка утворюється в результаті цієї реакції:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{HCl}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 287,3 \cdot 18 = 5,2 \text{ кг.} \quad (5.10)$$

Результати розрахунку матеріального балансу наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Матеріальний баланс синтезу композиту

Прихід		Витрата	
Отримання магнітної рідини			
Речовина	m, кг	Речовина	m, кг
FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	16,36	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	7
FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	8,4	H <sub>2</sub> O	150,5
HCl	10,2	NH <sub>4</sub> Cl	9,7
H <sub>2</sub> O	125	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4
NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O:	91,75	NH <sub>4</sub> OH	81,9
В тому числі:			
NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O (нейтр)	1,35		
NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O (реакц)	8,5		
NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O (pH)	81,9		
Всього	251,71		250,1
Отримання nano композиту			
Магнітна рідина:	175	TiO <sub>2</sub> ·Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	100
В тому числі:		H <sub>2</sub> O <sub>(исп)</sub>	168
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	7		
H <sub>2</sub> O	168		
TiO <sub>2</sub>	93		
Всього	268		268

## 5.2 Розрахунок витратних коефіцієнтів

Розрахунок проводиться на 100 кг готового композиту.

Витратні коефіцієнти визначаємо за формулою:

$$\beta = \frac{m(\text{речовини})}{m(\text{продукту})}. \quad (5.11)$$

$$\beta(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = \frac{16,36}{100} = 0,1636 \text{ кг/кг.}$$

$$\beta(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = \frac{8,4}{100} = 0,084 \text{ кг/кг.}$$

$$\beta(\text{HCl}) = \frac{10,2}{100} = 0,102 \text{ кг/кг.}$$

$$\beta(\text{NH}_4\text{OH}) = \frac{91,75}{100} = 0,9175 \text{ кг/кг.}$$

$$\beta(\text{TiO}_2) = \frac{93}{100} = 0,93 \text{ кг/кг.}$$

$$\beta(\text{H}_2\text{O}) = \frac{293}{100} = 2,93 \text{ кг/кг.}$$

## 6 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Головним апаратом технологічної схеми обрано фотокаталітичний реактор з потужністю ламп 25 Вт, так як в цьому апараті відбувається головна стадія – очищення води від барвників за допомогою синтезованого магнітного сорбенту. Розрахунок фотокаталітичного реактору наведено нижче.

### 6.1 Розрахунок фотокаталітичного реактора

Розрахунок проводився за методикою, що викладена в [5].

Вихідні дані:

Забруднююча речовина – барвник фенол.

Потужність ламп 25 Вт.

$\lambda=365$  нм.

Час перебування в реакторі 1200 с (20 хв).

Продуктивність 10 м<sup>3</sup>/год (0,0028 м<sup>3</sup>/с).

Концентрація забрудника 10 мг/дм<sup>3</sup> (0,01435 моль/ м<sup>3</sup>).

Для розрахунку фотокаталітичного модулю необхідно визначити кількість органічних барвників, що будуть окиснюватися системою TiO<sub>2</sub>·Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/УФ із заданими параметрами випромінювання.

Інтенсивність випромінювання фотонів лампою розраховується за формулою:

$$\vartheta_{uv} = \frac{E_{uv}}{E_{h\nu}}, \quad (6.1)$$

де  $E_{uv}$  – енергетичний потік лампи, Вт;

$E_{h\nu}$  – енергія фотону, Дж.

$$\vartheta_{uv} = \frac{25}{5.44 \cdot 10^{-19}} = 4.596 \cdot 10^{19} \text{ с}^{-1}.$$

Кількість молекул фенольних сполук, що деструктуються в одиницю часу:

$$N_{ph} = \vartheta_{uv} \cdot \varphi, \quad (6.2)$$

де  $\varphi$  – квантовий вихід.



Враховуючи значення квантового виходу, яке дорівнює 0,1, то кількість окиснених молекул в одиницю часу буде дорівнювати:

$$N_{ph} = 4.596^{19} \cdot 0.1 = 4.596 \cdot 10^{18}.$$

Кількість молекул фенольного забрудника, що окиснюється за час  $t = 20$  хв (1200 с):

$$N_{ph(t)} = N_{ph} \cdot \tau = 4.596 \cdot 10^{18} \cdot 1200 = 5.515 \cdot 10^{21}.$$

Кількість моль речовини, що розкладається за час  $t$ :

$$N_{ph(m)} = \frac{N_{ph}}{N_a} = \frac{5.515 \cdot 10^{21}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 9.1576 \cdot 10^{-3} \text{ моль}.$$

Кількість речовини, що розкладається за час  $t$  в об'ємі  $V$  визначається за формулою (6.3):

$$N_{destr(t)} = Q \cdot \tau \cdot P \cdot \frac{C_M}{100}, \quad (6.3)$$

де  $Q$  – продуктивність,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$P$  – рівень зниження концентрації, %;

$C_M$  – молярна концентрація забрудника,  $\text{моль}/\text{м}^3$ .

Тоді, виходячи з умов,:

$$N_{destr(t)} = 0.0028 \cdot 1200 \cdot 98 \cdot \frac{0.01435}{100} = 0.047 \text{ моль}.$$

Таким чином, кількість ламп, яка необхідна для фотокаталітичного окиснення фенольних сполук, складає:

$$N_{lamps} = \frac{N_{destr(t)}}{N_{ph(m)}} = \frac{0.047}{9.1576 \cdot 10^{-3}} = 55 \text{ ламп}.$$

Висота шару оброблюємої води  $n$  визначається за формулою:

$$n = - \frac{[lg(1 - \eta_n)]}{\alpha lge} \quad (6.4)$$

де:  $\eta_n$  – коефіцієнт використання УФ потоку;

$\alpha$  – коефіцієнт поглинання опромінюваної води,  $\text{см}^{-1}$ .

Поставивши собі величинами коефіцієнтів використання УФ потоку  $\eta_n = 0,9$  і поглинання води після освітлення на стадіях механічної та фізико-хімічної очистки  $\alpha = 0,2 \text{ см}^{-1}$ , відповідно до формули отримуємо величину шару оброблюваної води:

$$n = - \frac{[lg(1 - 0.9)]}{0.5 lge} = 4.6 \text{ см.}$$

З урахуванням шару оброблюємої води та необхідної кількості ламп, стаціонарний реактор ультрафіолетової обробки води може бути представлений у вигляді прямокутного контейнера, в який вставляються ультрафіолетові лампи.

Параметри фотохімічного реактора:

- Габарити лампи: довжина  $l_{\text{lamps}} = 1,7 \text{ м}$ ; діаметр  $d_{\text{lamps}} = 0,040 \text{ м}$ .
- Кількість секцій –  $n_s = 11$  шт ( одна резервна секція на випадок заміни ламп), що розміщуються в секціях на відстані  $k_2 = 2n$  одна від одної, так само, як і секції; від стінок реактору на  $k_1 = n$ .
- Довжина, ширина та висота реактору відповідно дорівнюють  $l_r = 1.7 \text{ м}$ ;  $b_r = 1,36 \text{ м}$ ;  $h_r = 0.82 \text{ м}$ ; об'єм реактору  $V_r = 0,3 \text{ м}^3$ .

Розглянутий фотохімічний реактор окислення органічних забруднювачів є частиною модульної системи локальної очистки стічних вод. При зміні початкових параметрів, при розрахунку реактора, конструкція його може бути модифікована під необхідні техніко-економічні умови очищення стоків.

В таблиці 6.1 показано як саме змінюється конструкція реактора в залежності від забруднювача.

Таблиця 6.1 – Кількість ламп та об'єм реактору для метилового блакитного, конго червоного та фенолу

Забруднююча речовина	Кількість ламп	Об'єм реактора
Конго червоний	5	0,3
Метилловий блакитний	11	0,4
Фенол	54	1,1

Також на рисунку 6.1 можна побачити зміну кількості ламп при зміні продуктивності відділення.

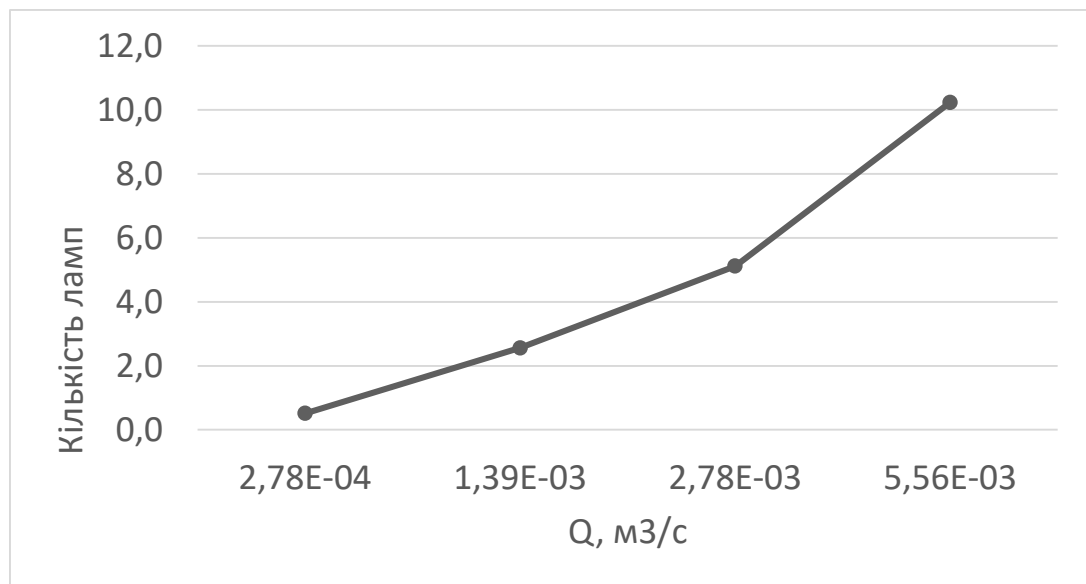


Рисунок 6.1 – Залежність кількості ламп від продуктивності відділення.

З рисунку 6.2 видно, що якщо встановити в реакторі лампи більшої потужності, то їх кількість лінійно зменшується.

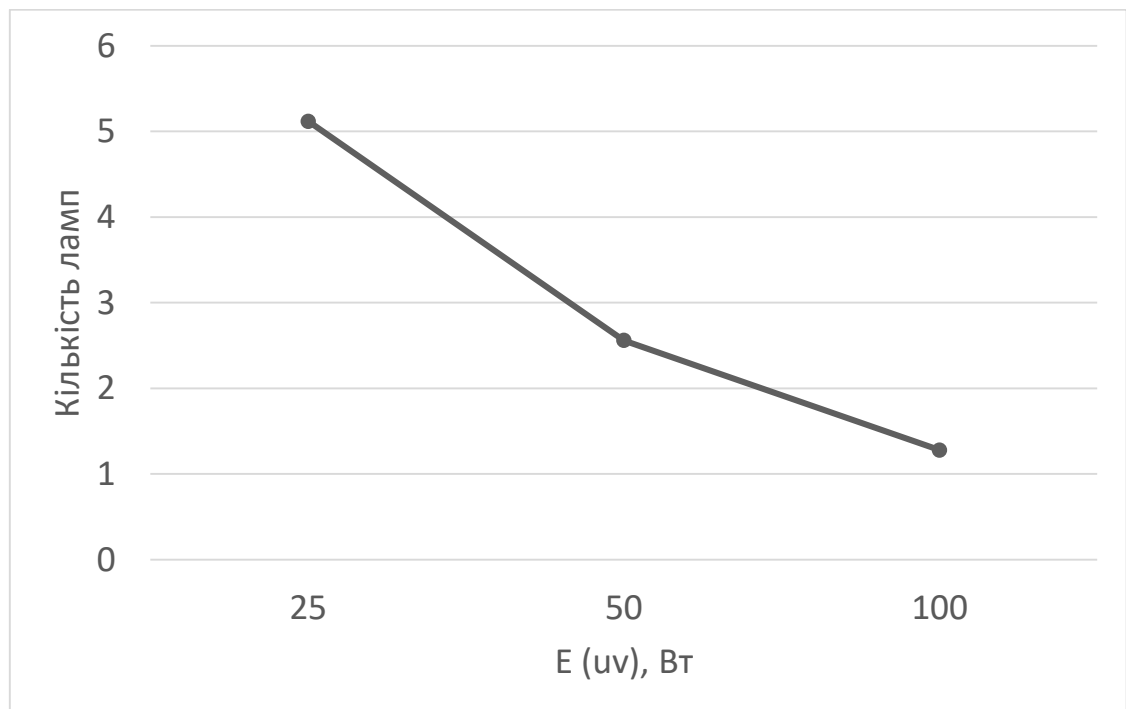


Рисунок 6.2 – Зміна кількості ламп при збільшенні їх потужності.

Таблиці даних параметрів для барвників конго червоний та метиловий блакитний наведені нижче (таблиця 6.2 та таблиця 6.3).

Таблиця 6.2 – Основні параметри ректору для очищення від конго червоного

	Кількість ламп	шт	5
	Кількість секцій		2
Параметри ламп	Довжина	м	1.7
	Діаметр	м	0.04
	Відстань до панелі	м	0.09
	Відстань від стінок реактора	м	0.05
Параметри реактора	Довжина	м	1.7
	Ширина	м	0.25
	Висота	м	0.82
	Об'єм реактору	м <sup>3</sup>	0,37

Таблиця 6.3 – Основні параметри реактору для очищення від метилового блакитного

	Кількість ламп	шт	11
	Кількість секцій		3
Параметри ламп	Довжина	м	1.7
	Діаметр	м	0.04
	Відстань до панелі	м	0.09
	Відстань від стінок реактора	м	0.05
Параметри реактора	Довжина	м	1.7
	Ширина	м	0.39
	Висота	м	0.82
	Об'єм реактору	м <sup>3</sup>	0,57

Розрахунки наступних підрозділів проведено згідно з методикою, наведеною в [11].

## 6.2 Розрахунок насосу

Розрахунок насосу проводиться для суспензії при температурі 25 °С, який працює при атмосферному тиску. Витрата (Q) становить 0,14 м<sup>3</sup>/с. Висота , на яку підіймається рідина дорівнює 10 м. Довжина трубопроводу на даній ділянці становить 20 м.

Приймемо, що лінійна швидкість руху рідини дорівнює 4 м/с. Враховуючи ці дані, розрахуємо діаметр за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (6.1)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.14}{3.14 \cdot 4}} = 0,2 \text{ м.}$$

На основі розрахованого діаметру обираємо трубопровід з зовнішнім діаметром – 219 мм, товщина стін якого становить 8 мм, а внутрішній діаметр – 0,206 м.

Фактична швидкість рідини в трубі:

$$\omega = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0.14}{3.14 \cdot 0.2^2} = 4,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (6.2)$$

Знайдемо критерій Рейнольдса за формуло:

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu}. \quad (6.3)$$

де  $\mu$  - динамічна в'язкість води, Па·с

$$Re = \frac{3,6 \cdot 0.206 \cdot 998,3}{1,005 \cdot 10^{-3}} = 736 \ 656.$$

Проаналізувавши отримане значення Рейнольдса можемо зробити висновок про турбулентний режим. Прийнемо абсолютну шорсткість рівною  $2 \cdot 10^{-4}$ . Тоді:

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,2} = 0,001. \quad (6.4)$$

Перевіримо виконання умови змішаного тертя –  $10 \cdot 1/e < Re < 560 \cdot 1/e$ .

$560 \cdot 1/e = 560000$ ,  $Re > 560000$ , тому можемо сказати, що умова не виконується.

Тому розрахунок  $\lambda$  проводимо за допомогою формули:

$$\lambda = 0,11e^{0,25} = 0,14 \quad (6.5)$$

Визначимо суму коефіцієнтів місцевих опорів.

Параметри нагнітальної лінії:

- Кут відведення –  $90^\circ$ .  $\xi_1 = 0,09$ ;
- Вихід з труби:  $\xi_3 = 1$ .

Звідси сума коефіцієнтів опорів дорівнює:

$$\sum \xi = 2 \cdot 0,09 + 1 = 1,18 \quad (6.6)$$

Напір, що втрачається в нагнітальній лінії:

$$h_{\text{втр}} = \left( \lambda \frac{l}{d_e} + \sum \xi \right) \frac{\omega^2}{2g} = \left( 0,14 \frac{20}{0,2} + 1,18 \right) \frac{4^2}{2 \cdot 9,81} = 12,4. \quad (6.7)$$

Напір насосу знайдемо за формулою:

$$H = \frac{(p_2 - p_1)}{\rho g} + H_r + h_{\text{втр}}, \quad (6.8)$$

де  $H_r$  – висота підйому рідини (геометрична), м;

$p_1$  – тиск в апараті, куди перекачується рідина, Па;

$p_2$  – тиск в апараті, з якого відбирається рідина, Па;

$\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$h_{\text{втр}}$  – втрати напору, м.

$$H = \frac{0,1 \cdot 10^{-6}}{998,3 \cdot 9,81} + 10 + 2,44 = 22,65 \text{ м.} \quad (6.9)$$

Корисна потужність насосу визначимо:

$$N_{\text{п}} = \rho g Q H = 998,3 \cdot 9,81 \cdot 0,14 \cdot 22,65 = 31056 \text{ Вт} \quad (6.10)$$

Прийmemo, що к.к.д передачі дорівнює 0,9 та розрахуємо потужність двигуна на валу:

$$N_{\text{в}} = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{пер}}} = \frac{31056}{0,9} = 34507 \text{ Вт.} \quad (6.11)$$

Прийmemo к.к.д. двигуна рівним 0,8, коефіцієнт запасу – 1,2 та розрахуємо потужність двигуна:

$$N_{\text{дв}} = \frac{34507 \cdot 1,2}{0,8} = 51760 \text{ Вт.} \quad (6.12)$$

Проаналізувавши розрахунки обираємо насос марки 1Д500-63а вироблений ОАО «ГМС Насоси», який має продуктивність 400 м<sup>3</sup>/год, напір – 53 м та максимальну потужність 57 кВт. Також оберемо двигун марки А280М4 УЗ. Т2 з потужністю 80 кВт.

### 6.3 Вибір баку для зберігання композиту

Для зберігання синтезованого композиту обираємо закритий бак об'ємом 10 м<sup>3</sup>,  $D_y=2870$  мм,  $L=2862$  мм. Бак такого типу дозволяє зберігати більше 100 кг композиту довготривалий час.

### 6.4 Розрахунок баку з мішалкою

Для даної технологічної схеми було обрано пропелерну мішалку, так як вона забезпечує потрібною кількістю обертів, маючи меншу потужність.

Розраховуємо сумарну витрату СВ за секунду за формулою:

$$Q = \frac{Q_{\text{поч}}}{3600}, \quad (6.13)$$

де  $Q_{\text{поч}}$  – початкова продуктивність, м<sup>3</sup>/год.

$$Q = \frac{10}{3600} = 0,00278 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При швидкості вихідного потоку ( $v$ ) – 20 мм/с діаметр циліндричної частини визначаємо за допомогою формули:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00278}{3,14 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}} = 1,33 \text{ м}. \quad (6.14)$$

Розрахуємо діаметри патрубків для підводу реагентів та на вході в апарат, знаючи умову  $v_{\text{вх}} = v_{\text{патр}} = v_{\text{вих}} = 1,1 \text{ м/с}$ .

$$d_{\text{вх}} = d_{\text{вих}} = d_{\text{патр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_{\text{вх}}}} = 0,06 \text{ м}. \quad (6.15)$$

Розрахуємо висоту закругленої частини, прийнявши, що кут між нахиленими стінками цієї частини ( $\alpha$ ) становить 40°:

$$H = \frac{D - d_{\text{вх}}}{2 \cdot \tan \frac{\alpha}{2}} = \frac{1,33 - 0,06}{2 \cdot \tan 20} = 0,28 \text{ м}. \quad (6.16)$$

Об'єм бака з реагентами розраховуємо за формулою (час змішування становить 10 хвилин):

$$V = Q \cdot t = 0,00278 \cdot 10 \cdot 60 = 1,66 \text{ м}^3. \quad (6.17)$$

Визначимо об'єм закругленої частини:

$$V_{\text{з.ч}} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot H \cdot ((R + r) \cdot 2) = 0,13 \text{ м}^3. \quad (6.18)$$

Також визначаємо об'єм циліндричної частини баку:

$$V_{\text{ц.ч}} = 0,28 - 0,13 = 0,15 \text{ м}^3. \quad (6.19)$$

Висоту циліндричної частини визначимо за формулою:

$$H_1 = \frac{4 \cdot V_{\text{ц.ч}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,15}{3,14 \cdot 1,33^2} = 0,11 \text{ м}. \quad (6.20)$$

Загальна висота апарату з урахуванням підвищення стінки на 15 см розраховується:

$$H_{\text{заг}} = 0,11 + 0,28 = 0,39 \text{ м}. \quad (6.21)$$

Діаметр мішалки становить:

$$d_{\text{норм}} = \frac{D}{3} = \frac{1,33}{3} = 0,44 \text{ м.}$$

(6.22)

Визначимо кількість обертів за хвилину (для турбулентного режиму слід підтримувати  $Re \geq 11000$ ):

$$n = \frac{Re \cdot \mu}{\rho \cdot d^2} = \frac{11000 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{1007 \cdot 0,44^2} = 1,4. \quad (6.23)$$

Приймемо, що кількість обертів становить 1,5 об/хв.



## 7 АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ВИРОБНИЦТВА

### 7.1 Аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизації

На підставі аналізу особливостей технологічного процесу синтезу магнітного композиту, його апаратного оформлення та норм технологічного режиму необхідно забезпечити такий рівень автоматизації відділення (опис технологічної схеми наведено в розділі 4):

- контроль і регулювання температури суміші на стадії приготування магнетиту;
- контроль і регулювання рівня рідини на стадії приготування магнетиту;
- контроль і регулювання рН на стадії приготування магнетиту;
- контроль та сигналізація рівня в мірниках;
- контроль і регулювання рівня в магнітному сепараторі;
- контроль і регулювання температури в барабанній сушарці;

Параметри контролю та регулювання відділення наведено у табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Параметри контролю та керування процесом

№.	Назва стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Назва контрольованого чи регульованого параметра	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до рівня автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1	Бак з мішалкою	Температура	40...50 °С	Контроль, регулювання
		Рівень	-	
		рН	9...9,1	Контроль
2	Мірник для $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Рівень	-	Контроль, сигналізація, регулювання
3	Мірник для $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Рівень	-	Контроль, сигналізація, регулювання
4	Мірник для $\text{H}_2\text{O}$	Рівень	-	Контроль, сигналізація, регулювання
5	Мірник для $\text{NH}_4\text{OH}$	Рівень	-	Контроль, сигналізація, регулювання

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

6	Мірник для $\text{TiO}_2$	Рівень	-	Контроль, сигналізація, регулювання
7	Мірник для $\text{HCl}$	Рівень	-	Контроль, сигналізація, регулювання
8	Магнітний фільтр з мішалкою	Рівень	-	Контроль, регулювання
9	Барабанна сушарка	Температура	100...110 °C	Контроль, регулювання

## 7.2 Опис розробленої схеми автоматизації

Для забезпечення безперебійної роботи усього технологічного устаткування відділення, збільшення продуктивності виробництва, підвищення якості продукту, стабілізації, контролю технологічних параметрів, а також мінімізації можливих помилок технологічного персоналу розроблено дану схему автоматизації. Схема автоматизації включає низку контурів автоматичного контролю та регулювання режимних параметрів обраного технологічного процесу.

Для забезпечення контролю та регулювання температури на стадії синтезу магнетиту та висушування готового композиту розроблено контури 1, 5, які складаються з термоелектричних перетворювачів (1-1, 5-1), показувальних і реєструвальних приладів (1-2, 5-2), нормувальних перетворювачів (1-3, 5-3), мікропроцесорного регулятора (5-4) та мікропроцесорного восьмиканального регулятора (1-4), виконавчого механізму (5-5, 1-5, 1-6, 1-7, 1-8, 1-9, 1-10).

Для контролю та регулювання рівня суспензії в перемішувальному пристрої з підігрівом та рівня води в магнітному фільтрі з мішалкою розроблено контури 2 і 4. Контури складаються з первинного вимірювального перетворювача рівня (2-1, 4-1), проміжного вимірювального перетворювача акустичного рівнеміра (2-2, 4-2), показувального і реєструвального приладу (2-3, 4-3), мікропроцесорного регулятора (2-4) та мікропроцесорного восьмиканального регулятора (4-4), та виконавчих механізмів (2-5, 4-5, 4-6, 4-7).

Для контролю рН в перемішувальному пристрої з підігрівом розроблено контур 3. Він складається з чутливого елемента рН-метра (3-1), перетворювача високоомного (3-2), показувального та реєструвального приладу (3-3).

Для забезпечення заповнення мірників відповідними розчинами розроблено контури регулювання рівня на основі датчиків реле рівня (6, 7, 8, 9, 10, 11) та відповідними виконавчими механізмами.

За виконання періодичного процесу відповідають малогабаритні контактори КМ1...КМ9.

Дистанційне керування роботою електропривода насоса 8 здійснюється за допомогою магнітних пускачів МП5...МП7 та постів управління SB1...SB6.

Специфікація з детальним описом обраного устаткування наведено в додатку А.

## 8 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ

### 8.1 Організаційні особливості відділення

КВЕД: секція Е 36.00.

Мета діяльності: задоволення потреб підприємства водою належного рівня якості.

Основне завдання діяльності відділення: вирішення проблеми очищення стічних вод виробництва хімічно ефективним, екологічно безпечним та економічно рентабельним методом;

Сировина, яка використовується у відділенні є досить специфічною. Очищення води здійснюється за допомогою природного, модифікованого за допомогою  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  сорбенту –  $\text{TiO}_2 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$ . Стічна вода, яка надходить на очищення є небезпечною, оскільки містить барвники органічного походження.

Завдяки впровадженню сучасних науково-технічних досягнень, застосуванню ефективної хімічної технології водопідготовки, використанню наявної вітчизняної сировинної бази підприємство забезпечує підприємство водою високої якості, одночасно вирішуючи проблему утилізації виробничих стічних вод. Запроваджена технологія має наступні переваги:

- базується на використанні в якості сировини сорбенту, який є одним з найефективніших та за допомогою модифікації легко вилучається з очищеної води ;
- відпрацьований сорбент може бути регенерований, що забезпечує економічну рентабельність його використання;

Організаційна структура відділення зображена на рисунку 8.1.

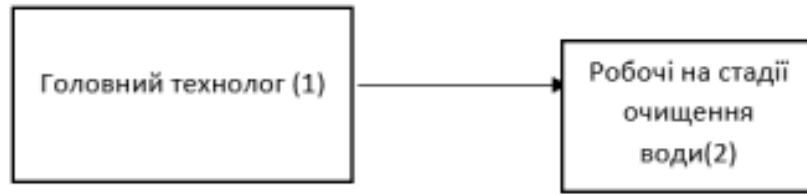


Рисунок 8.1. – Схема організаційної структури підприємства.

## 8.2 Класифікація виробничих процесів

Класифікація виробничих процесів

Основні:

1. Забір попередньо-освітленої води.
2. Подача попередньо-освітленої води до змішуючого апарату.
3. Змішування води з сорбентом.
4. Транспортування отриманої суспензії в фотокалітичну установку.
5. Процес фотокаталізації.
6. Транспортування суспензії в магнітний осаджувач.
7. Відділення очищеної води від відпрацьованого сорбенту

Допоміжні процеси:

1. доставка сорбенту;
2. огляд та ремонт обладнання.

Бічні процеси: утилізація відходів.

## 8.3 Оптимальний вид руху предмету праці

Види руху предметів праці (ВРПП) – показує послідовність проходження предметів праці (сировини, матеріалів) через вибрані стадії виробничого циклу.

Виділимо три головні операції. Кожна з них триває певний час, а цикл є безперервним. Тривалість операцій наведена в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Операції виробництва

	Операція	Час, хв.
	Змішування води з сорбентом	10
	Процес фотокаталізу	30
	Магнітна сепарація	20

Було вибрано послідовний графік ВРПП, так як він повністю задовольняє потреби виробництва у очищеній воді та є економічно вигідним.

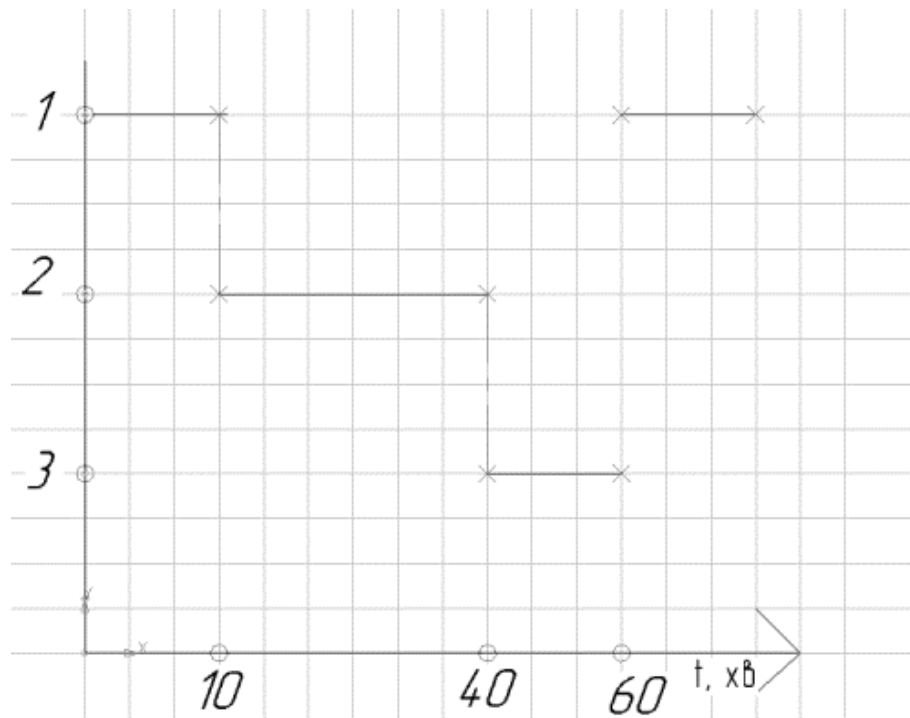


Рисунок 8.2 – Послідовний ВРПП.

#### 8.4 Розрахунки для обраного ВРПП

Тривалість зміни – 8 годин. Обираємо тривалість виробничого циклу рівною тривалості зміни, тобто  $T_{ВЦ} = 480 \text{ хв} = 8 \text{ год}$ . Оскільки тривалість виробничого циклу вираховується за формулою:

$$T_{ВЦ} = B * \sum_{i=1}^n t_i. \quad (8.1)$$

Тоді при об'ємі води за один випуск  $10 \text{ м}^3$ , продукції за одну зміну  $B = \frac{T_{ВЦ}}{\sum_{i=1}^n t_i} * 10 \text{ м}^3 = \frac{480}{60} * 10 = 80 \text{ м}^3/\text{зміну}$ .

При цьому кількість обладнання  $N_{\text{обл}}=3$ , чисельність робітників  $Ч=1$ .

Середньорічна тривалість виробничого циклу:

$$T_{\text{вц}}^{\text{с.р.}} = \frac{24 \cdot D_{\text{к}}}{T_{\text{р}} \cdot D_{\text{р}}} \cdot T_{\text{вц}}^{\text{ф}}, \quad (8.2)$$

де  $D_{\text{к}}$  – кількість календарних днів у році;

$D_{\text{р}}$  – кількість робочих днів підприємства протягом року;

$T_{\text{р}}$  – тривалість роботи підприємства протягом доби;

$T_{\text{вц}}^{\text{ф}}$  – фактична тривалість робочого часу.

Тривалість виробничого процесу підприємства 8 годин. Підприємство працює 5 днів на тиждень. Кількість днів у році 365. Кількість робочих днів протягом року становить:

$$D_{\text{р}} = 365 - 11 - 104 = 250 \text{ день} \quad (8.3)$$

Середньорічна тривалість виробничого циклу становить:

$$T_{\text{вц}}^{\text{с.р.}} = \frac{24 \cdot 365}{8 \cdot 250} \cdot 8 = 35 \text{ год} \quad (8.4)$$

Річний випуск продукції відділення:

$$B = B_{\text{вц}} \cdot \frac{365 \cdot 24}{T_{\text{вц}}^{\text{с.р.}}} = 80 \cdot \frac{365 \cdot 24}{35} = 20\,023 \text{ м}^3. \quad (8.5)$$

Кількість одиниць обладнання на окремій операції:

$$N_{\text{обл}}^1 = 1 \text{ од};$$

$$N_{\text{обл}}^2 = 1 \text{ од};$$

$$N_{\text{обл}}^3 = 1 \text{ од};$$

В даному відділенні стадії виробництва здійснюються за допомогою спеціального обладнання. Згідно з послідовним графіком ВРПП для реалізації 1-ої операції (змішування води з сорбентом) необхідна 1 одиниця обладнання (перемішувальний пристрій), для 2-ої (процес фотокаталізу) – 1 одиниця (фотореактор), для 3-ої операції (магнітна сепарація) – 1 одиниця (магнітний фільтр).

Чисельність явочна – максимально допустима чисельність працівників, необхідна для виконання відповідного обсягу робіт та повної комплектації робочих місць у кожному підрозділі протягом робочого дня.

$Ч_{\text{яв}} = \text{головний технолог} + \text{робочі на стадії очищення води (2 людини)} = 3 \text{ особи.}$

Потреба в двох одиницях персоналу на стадії водоочищення пояснюється необхідністю контролю здійснення виробничих операцій з належною ефективністю у заданій послідовності, а також показників на щиті керування.

Графік змінності для всіх працівників представлена у таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Графік змін працівників відділення

Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	...
1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В	...

Чисельність за списком показує потребу підприємства в кадрах, включає штатних, а також додаткових працівників для заміщення тих, хто знаходиться у відпустці, хворіють або не можуть бути присутніми за інших обставин.

Чисельність за списком розраховується за формулою:

$$\mathcal{C}_{\text{сп}} = \mathcal{C}_{\text{яв}} \cdot \frac{T_{\text{підпр}}^{\text{факт}}}{T_{\text{прац}}^{\text{факт}}}, \quad (8.6)$$

$$T_{\text{підпр}}^{\text{факт}} = 250 \cdot 8 = 2000 \text{ год}, \quad (8.7)$$

$$T_{\text{прац}}^{\text{факт}} = \frac{365}{7} \cdot (7 - 2) \cdot 8 = 2086 \text{ год}. \quad (8.8)$$

$$\mathcal{C}_{\text{сп}} = 3 \cdot \frac{2000}{2085} = 2,9 \approx 3 \text{ особи}. \quad (8.9)$$

## 8.5 Порядок технічного контролю у відділенні

Технічний контроль на даній стадії виробництва включає такі заходи контролю:

1. Вхідний контроль, який здійснюється головним технологом стосовно придатності закупленої сировини до використання її у виробництві. Вхідний контроль – неруйнівний, суцільний, здійснюється візуально в ручному режимі. Контроль включає в себе вивчення ліцензії і сертифікатів постачальників та огляд доставленої сировини. Всі дані записуються до журналу вхідного контролю та оформлюються у вигляді звіту для завідуючого виробництвом. Вхідний контроль персоналу здійснюється директором підприємства. Він має ознайомитись з дипломом про освіту, трудовою книжкою, відгуками про працівника та провести з



ним співбесіду і зробити висновок стосовно придатності його до виконання робіт на даному діючому виробництві.

2. Поточний контроль технології відділення, який вимагає постійного контролю здійснення виробничих операцій з належною ефективністю у заданій послідовності, дотримання всіх технологічних параметрів реалізації процесу. Проведення поточного контролю входить до обов'язків робочого на стадії водоочищення. Неруйнівний поточний контроль здійснюється по операційно, вибірково та автоматично на якісному рівні.

Технологічне обладнання перевіряється на стадії його закупки та кожної робочої зміни перед запуском технологічної лінії головним технологом.

Суб'єкти контролю: робочі на стадіях водоочищення і технолог. Контроль суб'єктів проводить головний технолог.

## **8.6 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка відділення**

Оплата праці здійснюється за погодинною формою оплати праці згідно з принципами прямої погодинної оплати праці. Ставка визначається в залежності від об'єму та складності робіт, які виконує персонал. В таблиці 8.3 наведено структуру персоналу.

Таблиця 8.3 – Структура персоналу

Посада	Кількість осіб	Ставка, грн/год	Заробітна плата, грн		
			За день	За місяць	За рік
Головний технолог	1	50	400	8 000	96 000
Робочі на стадії водоочищення	2	47	376	7 520	90 240

Відповідно до Закону від 24.12.2015 р. №909-VIII, у 2018 році встановлюється єдина ставка нарахування ЄСВ – 22 %.

$$\text{ФОП} = 1,22 \cdot 276\,480 = 337\,305,6 \text{ грн.}$$

Таблиця 8.4 – Статті калькуляції

Статті калькуляції	Ціна, грн
Основні засоби	
Магнітний фільтр з мішалкою	310 000
Фотореактор	100 000
Перемішувальний пристрій	300 000
Вартість приміщення	2 500 000
Інша оргтехніка	10 000
Нематеріальні активи	50 000
Всього	3 270 000
Оборотні засоби (річний запас)	
Електроенергія (200000кВт)	400 000
ФОП	337 305,6
Витрати на ремонт обладнання, обслуговування і перевірку (в розрахунку на 5 років)	15 000
Канцелярське приладдя	2 000
Всього	754 305,6

## 8.7 Техніко-економічні показники відділення

Плановий термін експлуатації основних засобів становить:

1. приміщення – 20 років;
2. обладнання – 5 років;
3. транспортні засоби – 5 років;
4. оргтехніка – 2 років;
5. нематеріальні активи – 12 років.

Амортизація розраховується за формулою:

$$A = \frac{OЗ_{пп} + K}{T_{екс}}, \quad (8.10)$$

де  $A$  – амортизація, грн/рік;

$OЗ_{пп}$  – повна початкова вартість основних засобів, грн;

$K$  – витрати на капітальний ремонт, грн;

$T_{екс}$  – період експлуатації основних засобів, рік.

За формулою (8.10) розрахуємо амортизацію для кожної групи основних засобів.

$$A_1 = \frac{OЗ_{пп(1)} + K}{T_{есп(1)}} = \frac{2\,500\,000}{20} = 125\,000 \text{ грн/рік};$$

$$OЗ_{пп(2)} = 310\,000 + 100\,000 + 300\,000 = 710\,000 \text{ грн};$$

$$A_2 = \frac{OЗ_{пп(2)} + K}{T_{есп(2)}} = \frac{710\,000 + 15\,000}{5} = 145\,000 \text{ грн/рік};$$

$$A_4 = \frac{OЗ_{пп(4)}}{T_{есп(4)}} = \frac{10\,000}{2} = 5\,000 \text{ грн/рік};$$

$$A_5 = \frac{OЗ_{пп(5)}}{T_{есп(5)}} = \frac{50\,000}{12} = 4\,166,7 \text{ грн/рік};$$

$$\begin{aligned} A &= A_1 + A_2 + A_4 + A_5 = 145\,000 + 125\,000 + 5\,000 + 4\,166,7 \\ &= 279\,166,7 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Річна собівартість очищеної води розраховується за формулою:

$$C = A + Oбз, \quad (8.11)$$

де  $C$  – собівартість, грн/рік;

$Oбз$  – вартість оборотних засобів, грн.

$$C = 279\,166,7 + 754\,305,6 = 1\,033\,472,3 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Питома собівартість 1 м<sup>3</sup> очищеної води:

$$C_{\text{пит}} = \frac{C}{V}, \quad (8.12)$$

де  $C_{\text{пит}}$  – питома собівартість, грн/м<sup>3</sup>;

$V$  – річний випуск відділення, м<sup>3</sup>.

$$C_{\text{пит}} = \frac{1\,033\,472,3}{20\,023} = 51,6 \frac{\text{грн}}{1\text{м}^3}.$$

Так як очищена у даному відділенні вода подається на використання підприємству прибуток дорівнює нулю.

Випуск продукції:

$$V = 1\,000 \cdot 20\,023 = 20\,023\,000 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Фондовіддача:

$$\Phi B = \frac{B}{OЗ} = \frac{20\,023\,000}{3\,270\,000} = 6,2 \frac{\text{грн}}{\text{грн}}.$$

Фондоємність:

$$\Phi \epsilon = \frac{1}{\Phi B} = \frac{1}{6,2} = 0,16 \frac{\text{грн}}{\text{грн}}.$$

## 8.8 Паспорт якості

Відділення очищення води фотокаталітичним методом

Паспорт № 04.1989

Найменування продукту: Очищена вода

Призначення: на потреби виробництва

Якість відповідає: ГОСТ 2874-82, ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Зовнішній вигляд продукту: прозора рідина без запаху та кольору.

Упаковка: відсутня, вода подається в систему водопостачання по 10 м<sup>3</sup>.

Дата випуску \_\_\_\_\_.

Таблиця 8.4 - Показники якості

№	Назва показника	Значення	Норма
1	Концентрація барвників		0,1 мг/дм <sup>3</sup>
2	Колірність		1.0±0.1
3	Жорсткість		1.0±0.1

Висновок: якість очищеної води (відповідає/не відповідає) вимогам ГОСТ 2874-82, ДСанПіН 2.2.4-171-10. \_\_\_\_\_

Головний технолог

\_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ )

підпис

## 9 ОХОРОНА ПРАЦІ

Даний розділ було розроблено згідно [6].

Згідно з технологією очищення води фотокаталітичним методом, в ході очищення та синтезу не виділяються та не використовуються токсичні, шкідливі та вибухонебезпечні речовини, але використовується ультрафіолетове випромінювання, яке може бути небезпечним для людини. Процес перебігає в приміщенні за кімнатної температури.

Всі проектні рішення прийнято з урахуванням вимог охорони праці.

На базі аналізу шкідливих і небезпечних факторів розроблено план заходів щодо створення безпечних умов праці та пожежної безпеки.

### **9.1 Виявлення та аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектному об'єкті. Заходи з охорони праці**

#### **9.1.1 Повітря робочої зони**

Органічні барвники, які знаходяться в стічних водах текстильного виробництва, є досить токсичними та роблять цю воду непридатною для використання і скиду в водоймища. Гранично допустима концентрація барвників в воді становить 5 мг/дм<sup>3</sup>, а концентрація в стічних водах таких виробництв – не менше 30 мг/дм<sup>3</sup>.

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [12], роботи в даному відділенні належать до категорії І б – легкі роботи, при яких витрата енергії не перевищує 141-175 Вт. Такий тип робіт виконують головний технолог та працівники на стадії водоочищення, які контролюють виконання технології.

В таблиці 9.1 показані оптимальні параметри у виробничих зонах приміщень.

Таблиця 9.1 – Оптимальні параметри у виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Теплий	Легка 1б	22-24	40-60	0,2
Холодний	Легка 1б	21-23	40-60	0,1

Циркуляція повітря в приміщенні здійснюється за допомогою вентиляторів на покрівлі та витяжними установками. Фактичні показники мікроклімату в приміщенні підтримуються за допомогою центрального опалення.

В умовах виробництва мікроклімат визначають на початку, в середині та в кінці теплого та холодного періодів року декілька разів за зміну. Параметри, які визначаються: температура (ртутним термометром), відносна вологість (аспіраційним психометром), швидкість руху повітря (чашковим анемометром).

### 9.1.2 Виробниче освітлення

В даному відділенні очищення води фотокаталітичним методом передбачається штучне освітлення, адже роботи проводяться з дотриманням дуже високої точності (відповідно до ДБН В.2.5-28-06 [8], роботи відносяться до категорії зорових робіт - IVa і VIIa)

Норми характеристик освітлення приведено у таблиці 9.2.

Таблиця 9.2 – Норми параметрів виробничого освітлення

Робоче місце	Характеристика зорової роботи	Розряд та підрозряд зорової роботи	Освітленість, лк		КПО, $e_n$ , %		
			Штучне освітлення		Природне освітлення		Суміщене освітлення
			Комбіноване	Загальне	Верхнє	Бокове	
Відділення очистки	Малої точності	V <sub>Г</sub>	-	100	3	1	1,8

Габарити приміщення: 10 м висота, 20 м ширина і 50 м довжина. Виконуються роботи, при виконанні яких мінімальний розмір об'єкта, що може бути розпізнаний, становить 0,2 мм.

Прийmemo, що коефіцієнт запасу ( $k_3$ ) становить 1,5, а коефіцієнт нерівномірності – 1,25. Норма освітленості робочого приміщення відповідає значенню  $E_n = 500$  лк. Світловий потік люмінесцентних ламп визначається за формулою:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot u \cdot m}, \quad (9.1)$$

де  $E$  – нормована освітлюваність;

$F$  – світловий потік (однієї лампи), лм;

$S$  – площа приміщення;

$k$  – коефіцієнт запасу для врахування зниження освітленості за умов експлуатації;

$z$  – поправочний коефіцієнт світильника;

$u$  – коефіцієнт використання, який залежить від відбиття, типу світильника, показника приміщення і т.д;

$n$  – кількість світильників;

$m$  – кількість люмінесцентних ламп у світильнику.

$$F = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot u \cdot m} = \frac{500 \cdot 500 \cdot 1,25 \cdot 1,1}{80 \cdot 0,6 \cdot 2} = 3584 \text{ лм.}$$



Знаючи значення світлового потоку, можемо обрати лампу ЛД з потужністю 65 Вт.

Визначимо потужність освітлювальної системи за формулою:

$$W = P \cdot n \cdot t, \quad (9.2)$$

де  $P$  – потужність лампи.

$$W = 65 \cdot 80 \cdot 2 = 10400 \text{ Вт.}$$

Перевірка відповідності освітлення до норм здійснюється один раз на рік за допомогою люксметра-116 раз на рік та після заміни ламп.

### **9.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрацій**

Джерелами шуму у відділенні є: робота перемішуючих пристроїв, рух води та робота насосів. Згідно з ДСН 3.3.6.037-99, допустимий рівень шуму не повинен перевищувати 80 дБА.

Заходи для зменшення рівня шуму передбачають:

- використання віброізоляторів для насосів;
- зміну кількості обертів джерела вібрації.

Відповідно до ДСН 3.3.6.039-99, допустимим є рівень вібрації не більше ніж 3,1 дБ. Для запобігання поганого впливу шуму робочі мають носити звукозахисні навушники.

### **9.1.4 Електробезпека**

Електрообладнання в відділенні фотокаталітичного очищення води живиться трифазною чотирьохпровідною електричною мережею зі змінним струмом і напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю. З метою попередження нещасних випадків, пов'язаних з ураженням струмом, всі струмоведучі частини обладнання та устаткування ізольовані.

Відповідно до ГОСТ 12.1.038-82, допустимий рівень напруги і струму відповідає :  $I_{\text{л}} = 0,3 \text{ мА}$  і  $U_{\text{д}} = 2 \text{ В}$  ( в нормальному режимі) та  $I_{\text{л}} = 6 \text{ мА}$  і  $U_{\text{д}} = 36 \text{ В}$  (в аварійному).

За нормального режиму роботи (при  $\tau \leq 10$  хв/добу):  $R_{\text{л}} = 3000$  Ом,  $R_0 = 4$  Ом. Звідси:

$$U_{\text{д}} = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}} = 73,25 \cdot 3 = 219,75 \text{ В}, \quad (9.3)$$

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}} \cdot 10^3}{R_{\text{л}} \cdot R_0} = \frac{220 \cdot 10^3}{3000 + 4} = 73,25 \text{ мА}. \quad (9.4)$$

Як видно з розрахунків, практичні значення перевищують нормативні. Це може призвести до електротравм з тяжкими наслідками у разі порушення правил улаштування електроустановок. Тому можна зробити висновок, що приміщення відноситься до групи з підвищеною небезпекою.

Для запобігання нещасних випадків введено такі запобіжні заходи: індивідуальні засоби захисту, електроізоляція, діелектричні килимки та рукавиці, покажчики напруги, плакати та знаки небезпеки.

### **9.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання**

До роботи у відділенні допускаються лише робочі, які прослухали інструктаж з техніки безпеки, пройшли відповідний курс навчання та склали екзамени для роботи з обладнанням.

У разі прориву трубопроводу можливе затоплення, так як продуктивність відділення складає  $10 \text{ м}^3/\text{год}$ , і як наслідок може статися коротке замикання в системі. Для запобігання затоплення на підлозі встановлений стік у каналізацію.

Для уникнення переливу речовин в баках та мірниках встановлено вимірювачі та регулятори рівня, оскільки деякі речовини можуть призвести до хімічного опіку в разі потрапляння на шкіру або в очі.

Фотокаталітичний реактор являє собою досить складну конструкцію. Основною небезпекою, яку він несе, є сильне УФ-випромінювання. Тому для створення безпечних умов для працівників цей апарат з усіх сторін закривається свинцевою пластиною, а працівники повинні одягати захисні окуляри при роботі з даним апаратом.

## 9.2 Пожежна безпека

Речовини, які використовуються для очищення води в даному відділенні не є токсичними та вибухо- чи пожежонебезпечними.

Виникнення аварійних ситуацій може спричинити:

- Недотримання техніки безпеки (людська халатність);
- Електрозамикання;
- Перенавантаження обладнання.

Для уникнення подібних ситуацій передбачено наступні заходи:

- регулярна перевірка персоналу на знання правил експлуатації обладнання та правил техніки безпеки;
- наявність справних засобів пожежогасіння;
- встановлення датчиків диму та пожежної сигналізації;
- заземлення;

Засоби для гасіння пожежі мають бути розміщені в легкодоступному місці.

## 10 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА

На сьогоднішній день все більше людей замислюються про те, якої шкоди наносять природі та їх здоров'ю синтетичні барвники, але поки що це не призводить до більш глибокого вивчення небезпечних та токсичних речовин, які входять в групу ризику. Навіть експрес-тест експлуатаційного методу дослідження не може надати повної та більш переконливої картини реальної небезпеки.

### 10.1 Аналіз джерел та розрахунок кількості відходів

В текстильній промисловості використовуються органічні барвники, які, навіть в невеликих концентраціях є токсичними та отруйними. Конго червоний (азобарвник, кислотно-основний індикатор) є одним із найбільш небезпечних:

Цей барвник, крім своїх токсичних властивостей, є небезпечним через те, що майже не видалається з води (ступінь очищення зазвичай становить не більше 20 %).

Гранично допустима концентрація в стічних водах становить 5 мг/дм<sup>3</sup>, а, стічні води, які спускаються з таких підприємств до водоймищ мають не менше 30 мг/ дм<sup>3</sup> таких барвників. Тому для повного очищення води від органічних барвників було вирішено використовувати більш сучасний та тонкий метод водоочищення – фотокаталіз. Основною перевагою даного методу є нетоксичність відходів водоочищення, а тобто оксиду титану (IV).

Відходами обраного способу очищення води у відділенні є відпрацьований магнітний титану (IV) оксид.

В таблиці 10.1 наведені характеристики сировини та продукції, що беруть участь у даному відділенні.

Таблиця 10.1 – Характеристика сировини та продукції виробництва

Відділення очищення стічних вод від барвників	Властивості	Проблеми	Кількість сировини, напівпродуктів, кг (м <sup>3</sup> ) на 1 т готової продукції
Стічні води	Токсичні, непридатні для скиду в водоймища	Наявність органічних забрудників	1000 м <sup>3</sup>
Оксид титану (IV)	Нетоксичний, нерозчинний в воді	Складно утилізується	2 кг
Очищена вода	Нетоксична, придатна до скиду у водоймища	-	1000 м <sup>3</sup>

Таблиця 10.2 – Характеристика твердих відходів та рідких стоків виробництва

№	Відділення очищення стічних вод від барвників	Кількість відходів, викидів та стоків, кг (м <sup>3</sup> ) на 1т готової продукції	Метод очищення	Ступінь очищення, %
1	2	3	4	5
1.	Відпрацьований діоксид титану	2 кг	Магнітна сепарація	100 %
2	Органічні барвники	0,3 кг	Фотокаталітична де-струкція	95%

Проаналізувавши дані таблиці можна зробити висновок, що відходи даного відділення нетоксичними, а саме відділення є маловідходним.

## 10.2 Можливі варіанти екологізації відділення

В таблиці 10.3 можна побачити та проаналізувати екологічний стан відділення.

Таблиця 10.3 – Екологічний стан виробництва

№	Відділення очищення стічних вод від барвників	Кількість відходів, викидів та стоків, м <sup>3</sup> (т) на 1т готової продукції	Концентрація забруднювача, мг/м <sup>3</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	ГДК забруднювача, мг/м <sup>3</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Відповідність нормі
1	Органічні барвники	0,3 кг	3 мг/дм <sup>3</sup>	10 мг/дм <sup>3</sup>	Відповідає

Отже, з таблиці 10.3 видно, що обрана технологія водоочищення не є екологічно шкідливою, тобто всі відходи, що утворились в результаті роботи відділення, або не нормуються, або відповідають вимогам (ГДК).

Наразі в Україні не використовується метод очищення води від органічних барвників, описаний в даній роботі. Не дивлячись на це, спираючись на теоретичні відомості ми можемо запропонувати варіант екологізації відділення, який описано нижче.

Відпрацьований композит не є токсичним та небезпечним для здоров'я людини, а також може бути регенерований та використовуватись повторно.

Залишкова концентрація органічних барвників в водах, які скидають до водоймищ, не становить загрози для флори, фауни та здоров'я живих організмів. Подальше їх очищення можливе, але не є необхідним. Більше того, додаткове очищення є економічно не вигідним та потребує більшої кількості часу, тому воно є недоцільним.'

### 10.3 Розрахунки та підбір обладнання за обраним рішенням

Перш за все варто зазначити, що відділення має бути забезпеченим необхідним транспортом для вивозу відпрацьованого композиту та апаратами для його спресовування.

За 1 годину ми отримуємо 10 т очищеної води. Спираючись на дану продуктивність можемо сказати, що маса твердих відходів буде становити 2 кг.

Тоді кількість теплоти, яка виділяється при спалюванні даної маси [2]:

$$Q_{\text{згор}} = m_{\text{прод}} \cdot q_{\text{згор}} = 2 \cdot 15 = 30 \text{ МДж/год}, \quad (10.1)$$

де  $q_{\text{згор}}$  – теплота згоряння шламу, 15 кДж/(кг·К)

$$m_{\text{прод. теор}} = \frac{30000}{4,183 \cdot (60 - 20)} = 179,3 \text{ кг/год} \quad (10.3)$$

Приймаємо, що втрати теплоти становлять 15 %, тоді:

$$m_{\text{прод. практ}} = 179,3 \cdot 0,85 = 152,4 \text{ кг/год} \quad (10.4)$$

В таблиці 10.4 представлені технічні характеристики економайзера, який підходить для даного процесу.

Таблиця 10.4 – Технічна характеристика економайзера Е-0,2/9Г

Назва та розмірність параметра	Е-0,2/9Г
Витрата води, т/добу	2
Температура води на вході, °С	5-20
Температура води на виході, °С	45-50
- довжина, мм	1020
- ширина, мм	1200
- висота, мм	1515

## 10.4 Екологічний моніторинг

Екологічний моніторинг виробництва – це система нагляду, зберігання інформації про стан навколишнього середовища, аналізу, прогнозування змін та розробки рекомендацій, які мають наукове обґрунтування, щодо покращення екологічного стану відділення, а також для прийняття більш ефективних управлінських рішень.

Як зазначено у вище наведених таблицях, в даному відділенні чітко нормується лише концентрація органічних барвників згідно з нормами ГДК.

Визначення концентрації барвника проводиться за допомогою фотоелектрокалориметра. Проби відбирають на виході з фотокаталітичного реактора (проба 1) та за 1 кілометр від місця скиду очищеної води до водоймища (проба 2). Проба 1 відбирається з частотою 1 раз на годину, проба 2 – 1 раз на добу.

В даному розділі було розглянуто проблеми екологічності синтезу магнітного композиту та очищення ним стічних вод, запропоновано методи екологізації та зроблено підбір обладнання на основі розрахунків.



## ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті було розглянуто переваги та недоліки різних методів очищення води від органічних забрудників та на їх основі вибрано оптимальний та найбільш ефективний метод – гетерогенний фотокаталіз.

Також було розроблено технологічну схему синтезу модифікованого за допомогою магнетиту ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) композиту на основі титану (IV) оксиду ( $\text{TiO}_2$ ) та очищення стічних вод з його використанням. Розраховано матеріальний баланс синтезу та на його основі визначено витратні коефіцієнти:  $\beta(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0,1636 \text{ кг/кг}$ ,  $\beta(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 0,084 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ,  $\beta(\text{HCl}) = 0,102 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ,  $\beta(\text{NH}_4\text{OH}) = 0,9175 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ,  $\beta(\text{TiO}_2) = 0,93 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ,  $\beta(\text{H}_2\text{O}) = 2,93 \text{ кг/кг}$ .

Розраховано основний апарат відділення – фотокаталітичний реактор, кількість яких при заданій продуктивності  $10 \text{ м}^3/\text{год}$  становить 1 з 55 лампами. Було обґрунтовано доцільність використання обраної конструкції фотореактору для очищення стічних вод від органічних речовин.

В роботі було автоматизовано процес синтезу нано композиту. Автоматизація включає в себе контроль, регулювання та сигналізацію обраних параметрів (температури, рівня, рН), а також налагоджено схему для виконання періодичного процесу.

На основі техніко-економічних розрахунків було з'ясовано, що фотокаталітичний метод очищення води є економічно доцільним, так як собівартість  $1 \text{ м}^3$  очищеної даним методом води становить 51,6 грн.

Також варто зазначити, що дане відділення не несе шкоди для навколишнього середовища та здоров'я живих організмів, що докладно описано в розділі екологічної безпеки.

В дипломному проекті також було розглянуто запобіжні заходи та техніку безпеки під час роботи та перебування у відділенні. Всі проектні рішення прийнято з врахуванням вимог щодо охорони праці та пожежної безпеки. Було створено план заходів на основі проаналізованих шкідливих та можливих небезпеч-

них факторів для створення безпечних та здорових умов праці на об'єкті, який знаходиться на стадії проектування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Артемьев Ю.М., Рябчук В.К. Введение в гетерогенный фотокатализ. - СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. - 303 с.
2. Saud Khashan, Sawsan Dagher, Nacir Tit, Anas Alazzam, Ihab Obaidat, Novel method for synthesis of  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  core/shell nanoparticles, Surface and Coatings Technology, 2017, p. 92-98.
3. Вальтер К.А., Донцова Т.А. Синтез і властивості нанокompозиту  $\text{TiO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$ , Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи». Матеріали конференції. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2018. – с. 14-15, іл.
4. Донцова, Т.А.; Бредихін, І.В. Механізм Фотокаталізу На  $\text{TiO}_2$ . *Наукові вісті КПІ* **2013**, 114–118.
5. Leonid Sheinkman, Dmitry Dergunov. Photochemical reactor oxidation of organicsubstances in mine waters. Технические науки – от теории к практике. Часть II 2013 ,134-137.
6. Методичні вказівки до виконання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах і роботах / Орленко А.Т., Праховнік Н. А., Полукаров Ю. О. – Київ: НТУУ «КПІ», 2012.
7. Макаров, Г.В. “Охрана труда в химической промышленности” / Макаров Г.В., Стрельчук Н. А., Кушелёв В. П., Орлов Г. Г. – М.: Химия, 1997.
8. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
9. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об’єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп’ют.-інтегр. технології» / М. В. Лукінюк. — К.: НТУУ «КПІ», 2008. — 236 с. : іл. — Біблігр.: с. 230-231. — 200 пр. — ISBN 978-966-622-287-2.
10. Бабіченко, А.К. Промислові прилади та засоби автоматизації Харків / Томишинський В.И., Михайлов В.М. та ін.: НТУ «ХПІ», 2001-470ст.

- 11.Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / Под ред. чл.-корр. АН СССР П. Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
- 12.ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст]. — Чинний від 01.12.99. К.: Постанова № 42, 1999. — 12 с.
- 13.Исаев А.Б. О фотокатализе и наночастицах. – Режим доступа: [http://tiveil.com/images/pdf/938d3b\\_813e23934a0440c5a6b80f36fec0fee8.pdf](http://tiveil.com/images/pdf/938d3b_813e23934a0440c5a6b80f36fec0fee8.pdf), вільний. – Загол. з екрана - Мова рос.

## ДОДАТОК А

